



ILMANLAADUN MITTAAMINEN PASSIIVISESTI KESKITTYEN PÖLYYN

Mari Kimpanpää

Opinnäytetyö
Kesäkuu 2011
Kemiantekniikka
Kemiantekniikka ja Ympäristötekniikka
Tampereen ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Tampereen Ammattikorkeakoulu

Kemiantekniikan koulutusohjelma, Kemiantekniikka ja ympäristötekniikka

KIMPANPÄÄ MARI: Ilmanlaadun mittaaminen passiivikeräimellä, keskittyen pölyyn

Opinnäytetyö 58 s., liitteet 10 s.

Kesäkuu 2011

Tämä opinnäytetyö on tehty yhteistyössä Tampereen ammattikorkeakoulun ja Työterveyslaitoksen kanssa. Se käsittelee ilmanäytteiden passiivikeräystä ja keskittyy erityisesti pölyn mittaamiseen.

Opinnäytetyön ensimmäinen osa sisältää tiedon keruuta passiivisista mittauksista ja keskittyy pölyn mittaukseen. Passiivikeräys on halpa ja yksinkertainen tapa tehdä ilmanlaatua koskevia mittauksia. Passiivikeräystä on tutkittu vähän pölyn mittaamisen osalta. Pölyn passiivikeräimistä ei tämän työn aikana löytynyt kaupallista versiota ja tietoa niistä löytyy vähän. Tässä työssä on lyhyesti selvitetty erilaisten pölyn mittaamiseen tarkoitettujen passiivikeräinten mallien toimintaperiaate ja niiden käyttö.

Työn toisessa vaiheessa tehtiin kokeellisia mittauksia itse rakennetulla VM-passiivikeräimellä ja IOM-aktiivikeräimellä passiivisesti. Näihin passiivikeräimiin päädyttiin siksi, että ei ollut mahdollista tilata valmista pölyn mittaukseen tarkoitettua passiivikeräintä ja että mittauksia oli helppo toteuttaa. Kokeelliset mittaukset suoritettiin tunnetuissa ja kontrolloitavissa laboratorio-olosuhteissa ja analysoitiin gravimetrisesti. Tuloksia verrattiin aktiivisten mittalaitteiden mittaustuloksiin. Korrelaatio VM-passiivikeräimen ja aktiivikeräimien välillä oli hyvä, mistä voidaan päätellä, että passiivikeräys on yksi vaihtoehto pölyn mittaamiseen ilmassa. Projektia tulisi jatkaa tekemällä mittauksia lisää laboratorio-olosuhteissa, sekä todellisissa olosuhteissa.

ABSTRACT

TAMK University of Applied Sciences
Chemical Engineering, Environmental Engineering

KIMPANPÄÄ MARI: Air quality measurements; especially dust measurements with passive samplers

Bachelor thesis 58 Pages, appendices 10 pages
June 2011

This study is made in cooperation with Tampere University of Applied Sciences and the Institute of Occupational Health with concerning passive sampling from the air samples and experimental measurements made by using passive sampler.

The first part of this thesis contained information from passive measurements, focusing on particulate measurement. Passive sampling is a cheap and simple way to make air quality measurements. Passive sampling has been studied little, regarding the measurement of particulate matter. During this project none of the developed passive samplers for particulate matter were commercial, and information about them can be found only a bit. This work has briefly explained the different models of operation and their use.

The second part was to make experimental measurements using VM-passive sampler and IOM-active sampler passively used. These collectors resulted in the fact that it was not possible to order the passive sampler for particulate measurement, as well as easy implementation. Experimental measurements were performed under laboratory conditions and were analyzed by gravimetrically. Results were compared with active measuring devices measuring results. Correlation model based on VM-passive sampler and active sampler were good and can be conclude that the passive sampling is a good alternative for measuring particles in the air. Therefore, it is worthwhile to continue the project and make further measurements, especially under the right circumstances and to explore more detail in passive sampling.

Keywords

Passive sampling, air quality, dust, particles, active device

ESIPUHE

Huhtikuussa 2010 sain mahdollisuuden osallistua projektiin, jossa tehtäisiin ilmamittauksia passiivikeräintä käyttäen ja sain aiheen myös opinnäytetyöhön. Projektissa oli mukana sekä Työterveyslaitos että Tampereen ammattikorkeakoulu.

Kiitän kaikkia projektiin osallistuneita: Maarit Korhosta, Tiina Rantiota, Pasi Arvelaa ja Jarmo Liljaa. Erityiskiitokset haluan antaa Mahnaz Soltanille, joka toisena oppilaana teki samasta aiheesta opinnäytetyön ja työskenteli kanssani projektin parissa.

Haluan kiittää myös perhettä ja ystäviä tuesta koko projektin aikana.

Tampereella toukokuussa 2011

Mari Kimpanpää

SISÄLTÖ

1	JOHDANTO.....	9
2	ILMANLAATU	10
2.1	Ulkoilman laatu	10
2.2	Sisäilman laatu	11
2.2.1	Haittatekijöiden vaikutus sisäilmassa	12
2.2.2	Fysikaaliset tekijät.....	12
2.2.3	Kaasumaiset tekijät	13
2.2.4	Hiukkasmaiset tekijät.....	15
2.3	Pölyn ja pienhiukkasten lähteet ja niiden vaikutus sisäilmaan.....	16
2.3.1	Pölyn terveysvaikutukset	17
3	MITTAUSLAITTEET	19
3.1	Sisäilman hiukkasten mittauslaitteet	19
3.1.1	Inertiaan perustuvat mittausmenetelmät	20
3.1.2	Optiset mittausmenetelmät.....	20
3.1.3	Sähkövaraukseen perustuvat menetelmät	21
3.2	Ilman epäpuhtauksien mittaaminen passiivisesti	21
3.2.1	Passiivikeräimen toimintaperiaate	22
3.2.1.1	Adsorptioon perustuvat keräimet	23
3.2.1.2	Kemialliseen reaktioon perustuvat keräimet.....	24
3.2.2	Diffuusiokeräimeen vaikuttavat tekijät	25
3.2.2.1	Ilman kosteus	25
3.2.2.2	Ilman virtaus	25
3.2.2.3	Mittausaika ja epäpuhtauksien pitoisuus.....	26
3.2.3	Analyysit	26
3.2.4	Gravimetrinen analysointi.....	26
3.3	Erilaisia passiivikeräimiä	27
3.3.1	Sisäilman passiivikeräimet.....	28
3.3.2	Ulkoilman passiivikeräimet	28
4.1	Elektreetti keräin	30
4.2	Vinzentsin passiivikeräin	31

4.3	Passiivikeräin aerosoleille(UNC-passiivikeräin)	33
4.4	PAAS-passiivikeräin	35
4.5	IOM-aktiivikeräin passiivisesti käytettynä.....	36
5	MITTAUKSET	37
5.1	Käytetyt mittalaitteet	37
5.1.1	Valon optiseen sirontaan perustuvat ARTI- ja DustTrak-mittalaitteet.....	37
5.1.2	Käytetty aktiivikeräin	39
5.1.3	Kokeelliset Passiivikeräimet	39
5.3	Analyysit ja analysointilaitteet	43
5.4	Esimittaukset	43
5.4.1	Esimittauksien toteutus.....	43
5.4.2	Esimittauksien tulokset.....	44
5.5	Todelliset mittaukset	45
6	MITTAUSTULOKSET.....	47
6.1	IOM-aktiivikeräimen ja DustTrak-mittalaitteen mittaustulokset	47
6.2	Passiivikeräimien mittaustulokset	48
6.3	Mittaustulosten vertailu	49
6.4	Mittauksien virhetekijät.....	52
7	JOHTOPÄÄTÖKSET	53
	LÄHTEET.....	55
	LIITTEET	58
	Liite 1. Mittaus 1. Mittauspöytäkirja	
	Liite 2. Mittaus 2. Mittauspöytäkirja	
	Liite 3. Mittaus 3. Mittauspöytäkirja	
	Liite 4. Mittaus 4. Mittauspöytäkirja	
	Liite 5. Mittaus 5. Mittauspöytäkirja	

SYMBOLIT JA TERMIT

Absorptio	Atomien, molekyylien ja ionien imeytyminen nesteeseen, kaasuun tai kiinteään aineen
Adsorbentti	Kiinteä aine, mikä adsorboi muita aineita pinnalleen.
Adsorptio	Fysikaalinen prosessi, jossa kaasumainen aine (tai neste) muodostaa ohuen kalvon kiinteään aineen pintaan.
Desorptio	Aineen pintaan kiinnittyneiden molekyylien irtoaminen
Diffuusio	Ilmiö, jossa molekyylit pyrkivät siirtymään väkevämmästä pitoisuudesta laimeampaan ta- soittaen mahdolliset pitoisuuserot ajan mittaan.
Diffuusiokerroin(D_k)	Hiukkasten epäsäännöllisen liikkeen ja hiuk- kasten diffuusion välisen yhteyden kerroin
Fickin 1. Laki	Kuvaa kemikaalien sekoittumista toisiinsa dif- fuusion avulla
HTP	Haitalliseksi tunnettu pitoisuus
Inertia	hitausmomentti, kappaleen taipaisuus vastustaa liiketilän muutoksia
Konsentraatio/pitoisuus(c)	Ainemäärä (hiukkasten lukumäärä) tilavuusyk- sikössä
M	Kokonaismassa
PM_x	Hiukkaspitoisuus kokoluokittain, esim. PM_{10} tarkoittaa kymmentä mikrometriä pienempien hiukkasten massapitoisuutta
q_v	tilavuusvirta
Δt	Mitattu aika
TSP	Kokonaisleijuma, käsittää kaikki ilmassa leiju- vat hiukkaset
VM-passiivikeräin	Vinzentsin malliin perustuva kokeellinen pas- siivikeräin
V	Tilavuus

VOC

Volatile organic compound eli haihtuva orgaaninen yhdiste.

1 JOHDANTO

Tämän työn tarkoituksena oli kerätä tietoa passiivisista ilmamittauksista, keskittymällä pölymittauksiin ja tehdä kokeellisia pölymittauksia passiivikeräimiä käyttäen. Projekti on jatkuva ja siitä on jo aikaisemmin tehty yksi opinnäytetyö.

Ilmamittauksissa passiivikeräinten käytön etu on, että se on halpaa, helppo toteuttaa ja mittalaitteet on yksinkertaisia käyttää. Passiivikeräin ei tarvitse toimiakseen virran lähdettä tai pumppua, mikä helpottaa mittauksien tekemistä oikeissa olosuhteissa työpaikoilla, koska esimerkiksi liikkumista ei ole tällöin rajoitettu. Passiivikeräimet ovat useimmiten pieniä kooltaan ja ne on helppo asettaa mittaustilanteissa lähelle hengitysteitä henkilökohtaisissa mittauksissa. Passiivikeräimillä voidaan mitata myös koko huoneen ilmanlaatua tai suorittaa mittauksia ulkotiloissa. (Schneider, Schlünssen, Vinzents & Kildesø 2002, 187)

Pölymittauksiin tarkoitettuja passiivikeräimiä ei ole kaupallisesti saatavilla, ja niistä on tehty suhteellisen vähän tutkimuksia. Yksi tämän työn tehtävistä oli kerätä tietoa erilaisista prototyypeistä ja niiden toimintaperiaatteista. Alun perin projektin tarkoituksena oli yrittää tilata yksi tai useampi prototyyppi pölyn passiivikeräin mittauksia varten, mutta yhteydenotot näiden mallien kehittelijöihin eivät tuottaneet tulosta.

Mittaukset tapahtuivat Vinzentisin malliin perustuvalla itse rakennetulla passiivikeräimellä, eli VM-passiivikeräimellä ja IOM-aktiivikeräimellä, jota käytettiin passiivisesti. Mittaukset suoritettiin laboratoriossa tunnetuissa ja kontrolloiduissa olosuhteissa pölykammiossa. Mittaustuloksia verrattiin aktiivikeräimien samoissa mittaustilanteissa saatuihin mittaustuloksiin. Työ esittelee mittauksien toteuttamisen ja mittauksista saadut tulokset. Projektin seuraava vaihe olisi tehdä passiivisia mittauksia lisää laboratorio-olosuhteissa ja todellisissa olosuhteissa ja ratkaista ongelmia, joita tämän työn aikana mittauksissa tuli ilmi.

2 ILMANLAATU

2.1 Ulkoilman laatu

Ilmanlaatua on Suomessa mitattu 1950-luvulta asti, jolloin laatua seurattiin sadevesinäytteistä. Mittauksia verrattiin jo tuolloin kansainvälisesti. 1970-luvulla ilman-saasteiden kulkeutuminen kaukaa muodostui ongelmaksi Euroopassa, mistä syystä Euroopan valtiot käynnistivät ilmanseurantaohjelmia ja yhdenmukaistivat ilmanlaadun seurantaa. Suomessa on aina ollut suhteellisen hyvä ilmanlaatu. 2000-luvulle tultaessa ilmansaasteet ovat rikki- ja typpioksidin osalta vähentyneet, mutta katupölystä johtuva pienhiukkasten määrä on pysynyt samalla tasolla tai jopa jonkin verran kasvanut aikaisempaan verrattuna. (Ilmanlaatuportaali)

Huono ilmanlaatu on yleensä kaupunkien tai taajamien ongelma, mikä johtuu esimerkiksi liikenteestä aiheutuvista päästöistä. Huono ilmanlaatu tarkoittaa sitä, että ilmassa on suuri määrä epäpuhtauksia, jotka vaikuttavat haitallisesti ihmisen terveyteen tai aiheuttaa materiaalivahinkoja. Suomessa ilmanlaadun valvonnasta vastaa Ilmatieteen laitos tausta-arvojen ja otsonipitoisuuksien osalta. Kunnat huolehtivat paikallisesta ilmanlaadun seurannasta. Ulkoilman laatuun vaikuttavat sellaiset tekijät kuin lämpötila ja tuuli. Ilmasta mitataan eri yhdisteiden pitoisuuksia, kuten otsonia ja siitä muodostuvia yhdisteitä, sekä typpi- ja rikkiyhdisteitä. Eri yhdisteille ja epäpuhtauksille on asetettu raja-arvot, joista voidaan arvioida ilmanlaatua. Raja-arvot ovat taulukossa 1.(Ympäristöministeriö)

Taulukko 1. Ilmanlaadun raja-arvot (Riipinen & Lehtipalo 2009)

Indeksiluokitus	Kunkin yhdisteen tuntipitoisuutta vastaava indeksi-arvo (ns. ali-indeksi) Pitoisuus, mikrogrammaa kuutiometrissä ilmaa, µg/m ³						TRS
	SO ₂	NO ₂	PM ₁₀	PM _{2.5}	O ₃	CO	
hyvä	alle 20	alle 40	alle 20	alle 10	alle 60	alle 4000	alle 5
tydyttävä	20-80	40-70	20-50	10-25	60-100	4000-8000	5-10
välttävä	80-250	70-150	50-100	25-50	100-140	8000-20000	10-20
huono	250-350	150-200	100-200	50-75	140-180	20000-30000	20-50
erittäin huono	yli 350	yli 200	yli 200	yli 75	yli 180	yli 30000	yli 50

2.2 Sisäilman laatu

Suomessa ihmiset viettävät entistä enemmän aikaa sisätiloissa, ja tästä syystä on alettu sisäilmaan kiinnittää suurempaa huomiota. Huono sisäilma voi aiheuttaa väsymystä ja sairauksia, joten se on kallista sekä kansantaloudelle että yrityksille. Tästä syystä on tärkeitä, että sisäilma on mahdollisimman hyvää laadullisesti. Jos työntekijän työhön vaikuttaa heikentävästi huono sisäilma, on yrityksen syytä panostaa siihen eräänlaisena sijoituksena. Sisäilman laatu on yksi hyvinvointitekijä, johon on teollisissa maissa alettu kiinnittämään huomiota. (Seuri & Palomäki 2000, 16)

Sisäilmaan vaikuttavat monet eri tekijät, joten sitä on vaikeata tarkasti arvioida. Sisäilmassa on monia erilaisia hiukkasmaisia osia ja epäpuhtauksia, joista osaa ei tunneta, joten sisäilmaa on mahdotonta tutkia tarkasti. Hyvän sisäilman luokitus ei perustu pelkästään mitattuihin tuloksiin, vaan myös käyttäjien kokemuksiin. Kun suunnitellaan toimivaa ja terveellistä sisäilmaa, voidaan apuna käyttää sisäilman tavoitearvoja ja ohjeita, joita on Suomessa tällä hetkellä käytössä kolme erilaista: sosiaali- ja terveysministeriön ”sisäilmaohje”, Suomen rakentamismääräyskokoelman osassa D2 ”rakennusten sisäilma ja ilmanvaihto” ja sisäilmayhdistyksen laatima ”sisäilmastoluokitus 2000”. (Seuri & Palomäki 2000, 16–17)

2.2.1 Haittatekijöiden vaikutus sisäilmassa

Tärkeimmät sisäilmaa heikentävät tekijät voidaan jaotella kolmeen eri ryhmään: fyysikaalisiin, kaasumaisiin ja hiukkasmaisiin tekijöihin, jotka ovat nähtävissä kuviosta 1. Tässä opinnäytetyössä on keskitytty pääasiassa hiukkasmaisiin haittatekijöihin. Hiukkasmaiset haittatekijät voidaan edelleen jakaa biologisiin haittatekijöihin ja muihin pienhiukkasiin. Myös ilmanvaihdolla on suuri osuus sisäilman laatuun, joka vaikuttaa kaikkiin edellä mainittuihin haittatekijöihin. Jos ilmanvaihto on toimiva, on myös sisäilma yleensä hyvä. (Seuri & Palomäki 2000, 33)



Kuvio 1. Sisäilman haittatekijät (Seuri & Palomäki 2000, 33)

2.2.2 Fysikaaliset tekijät

Fysikaalisia tekijöitä ovat lämpötila, kosteus, veto sekä radon. Lämpötila vaikuttaa ennen kaikkea henkilön viihtyvyyteen, harvemmin se aiheuttaa pysyviä sairauksia Suomen olosuhteissa. Kuitenkin liian lämmin (yli 32 °C) tai liian kylmä (alle 15 °C) ilma voivat aiheuttaa työkyvyn heikentymistä. Jos sisäilmassa on liiallista kosteutta, se lisää mikrobikasvua. Liian kuiva ilma vaikuttaa ihmisten hengitysteiden, limakalvojen ja silmien kuivumista. Kosteuden tavoitearvot ovat Suomessa talvisin 25–45

% ja kesäisin 30–60 %. Koneellinen ilmanvaihto kuivattaa ilmaa. Jotta ilmankosteus olisi tavoitearvoja pienempi, se johtuu pääasiallisesti ilmanvaihdosta. Suomessa ongelmana on liian kuiva ilma talvisin. Jos rakennuksessa esiintyy liian korkeaa kosteutta, viittaa se yleensä kosteusvaurioihin. Kosteusvauriot ovat hyvin yleisiä Suomessa. Jopa puolessa maamme rakennuksista on kosteusvaurioita ja niihin liittyviä homeongelmia. (Seuri & Palomäki 2000, 34–39; Lahtinen, Lappalainen & Reijula 2006, 13; Asumisterveysopas 2009, 47–48)

Veto heikentää toimintakykyä ja vaikuttaa myös viihtyvyyteen. Vedon haitat riippuvat lämpötilasta ja ilman nopeudesta. Radon lukeutuu myös fysikaalisiin haittatekijöihin säteilynsä vuoksi, vaikka se onkin kaasu. Pitkäaikainen altistuminen radonille aiheuttaa esimerkiksi keuhkosityöpää. Radonia ei voida havaita muuta kuin mittamalla. Suomen maaperässä on paljon radonia, minkä vuoksi se on isompi ongelma kuin monissa muissa maissa. (Seuri & Palomäki 2000, 34–39; Lahtinen ym. 2006, 13; Asumisterveysopas 2009, 47–48)

2.2.3 Kaasumaiset tekijät

Kaasumaiset haittatekijät ovat joko orgaanisia tai epäorgaanisia yhdisteitä. Ne voivat olla lähtöisin ihmisen toiminnasta, ulkoilmasta tai rakennusmateriaaleista. Kaasumaisten haittatekijöiden terveysvaikutukset voivat pahimmillaan johtaa äkkinäiseen kuolemaan tai lievemmissä tapauksissa muodostaa ärsykkeen. Valtioneuvosto on määrännyt työpaikan epäpuhtauksille raja-arvot eli HTP(=haitalliseksi tunnetut pitoisuudet) – arvot. HTP-arvot kertovat mikä on pienin epäpuhtauksien pitoisuus, mikä voi vahingoittaa työntekijää ja missä altistusajassa. Valtioneuvosto on myös asettanut sisäilmalle tavoitetasoja, eli ohjearvoja, jolloin sisäilma on mahdollisimman hyvää laadullisesti. (Seuri & Palomäki 2000 40; Sisäilmayhdistys)

Orgaanisten yhdisteiden (VOC) määrä sisäilmassa on pieni, mutta niitä voi olla satoja erilaisia. Haihtuvia orgaanisia yhdisteitä on paljon rakennus- ja sisustusmateriaaleissa, erilaisissa liuottimissa ja ulkoilmasta tulevissa pakokaasuissa. Pitoisuuksien mittaaminen on ongelmallista, koska yleisesti käytetyt menetelmät eivät pysty näitä haittatekijöitä mittaamaan. VOC-yhdisteiden terveyshaittoja ovat esimerkiksi päänsärky, pahoinvointi väsyminen ja voimattomuus. VOC-yhdisteet ovat usein osana

sisäilman ongelmia, mutta koska ne harvoin esiintyvät suurina pitoisuuksina, eivät ne yksin määritä sisäilman laatua. (Seuri & Palomäki 2000 44; Sisäilmayhdistys)

Aldehydit ovat myös orgaanisia kaasuja, mutta niitä testataan eri menetelmällä kuin muita orgaanisia kaasuja; myös niiden terveyshaitat tunnetaan paremmin. Yleisimpiä sisäilman aldehydejä on formaldehydi, joka on erittäin voimakashajuinen ja erittäin haihtuva kaasu. Formaldehydi ärsyttää silmiä ja hengitysteitä ja korkeat pitoisuudet aiheuttavat päänsärkyä ja pahoinvointia. Formaldehydeille altistuminen lisää myös syöpäriskiä. (Seuri & Palomäki 2000 45; Sisäilmayhdistys)

Yleisimpiä epäorgaanisia yhdisteitä sisäilmassa ovat hiilidioksidi, häkä eli hiilimonoksidi, otsoni, rikkidioksidi, typen oksidit ja ammoniakki. Hiilidioksidia tulee sisäilmaan pääasiassa ulkoa tai ihmisten hengityksen kautta. Jos ihmisiä on paljon sisätilassa, jossa ei ole riittävän tehokasta ilmanvaihtoa, seuraa liian suuri hiilidioksidimäärä, jolloin seurauksena ilmenee esimerkiksi väsymystä tai päänsärkyä ja tunne, että ilma loppuu. Ilmanvaihdon mittarin käytetään hiilidioksidipitoisuutta. (Seuri & Palomäki 2000, 40–42; Puhakka & Kärkkäinen 1994 45–46)

Häkää syntyy epätäydellisestä palamisesta. Sisätiloihin sitä voi tulla ulkoilmasta, kuten autojen pakokaasuista, tai sisätiloissa olevista tulisijoista. Häkä on hajuton ja väritön kaasu, ja se pystyy sitoutumaan vereen 200 kertaa nopeammin, kuin happi, joten häkämyrkytys on erittäin vaarallinen ja voi johtaa kuolemaan. (Seuri & Palomäki 2000, 40–42; Puhakka & Kärkkäinen 1994 45–46)

Otsonin määrä sisätiloissa ei yllä lähellekään ulkoilman tasolle, mutta sitä voi muodostua kopiokoneiden ja lasertulostimien käytössä. Koska otsonilla on suuri reaktiivisuus, voi se reagoida kemiallisten yhdisteiden kanssa, joita on kehossa, ja muodostaa myrkyllisiä välituotteita. Äkillisestä korkeasta otsoniannostuksesta voi saada oireita, jotka kestävät tunteja. (Seuri & Palomäki 2000, 40–42; Puhakka & Kärkkäinen 1994 45–46)

Typidioksidin ja muiden typen oksidien pääasiallinen lähde on liikenne. Sisäilman pitoisuudet riippuvat yleensä ulkoilman pitoisuuksista. Tupakointi sisätiloissa ja kaasuliesien käyttö lisäävät myös typen oksidien määrää. Typen oksidit ärsyttävät

silmiä ja ylempiä hengitysteitä. Rikkidioksidia syntyy teollisuudessa, kun poltetaan fossiilisia polttoaineita. Sisätiloissa ei ole rikkidioksidin päästölähteitä. Rikkidioksidi on ongelma paikkakunnilla, joissa on puuteollisuutta ja tuotetaan paperia. Ongelma ilmenee voimakkaina hajuhaittoina. Koska molemmat kaasut ovat varsin reaktiivisia, ne imeytyvät rakennusten pintoihin. (Seuri & Palomäki 2000, 42–45; Puhakka & Kärkkäinen 1994 45–46)

Ammoniakkia vapautuu eri rakennusmateriaaleista, kuten maaleista ja lakoista, sitä muodostuu myös ihmisten eritteistä ja uloshengityksestä. Tästä syystä ammoniakkipitoisuus voi olla korkea tiloissa, joissa on paljon ihmisiä ja huono ilmanvaihto, kuten vanhainkodeissa tai päiväkodeissa. Vaikka ammoniakki ei itsessään ole kovin haitallinen, voidaan sen korkeista pitoisuuksista päätellä, että rakennuksessa on kosteusvaurio. Kun on korkea ammoniakkipitoisuus, se viittaa myös usein korkeaan VOC-pitoisuuteen. Ammoniakin voi havaita myös pistävänä tai mädäntyneenä hajuhaittana. (Puhakka & Kärkkäinen 1994, 42–43; Asumisterveysopas 2009, 130–131)

2.2.4 Hiukkasmaiset tekijät

Sisäilmassa on paljon erilaisia hiukkasmaisia epäpuhtauksia. Kaikki hiukkaset eivät ole terveydelle vaarallisia, eikä ilmaa koskaan saada täysin puhtaaksi. Osa hiukkasista aiheuttaa allergiaa ja pitkäaikaisaltistuminen jollekin tietylle aineelle, esimerkiksi asbestille voi aiheuttaa vakavia sairauksia. Hiukkaset voidaan jakaa eri luokkiin kokonsa, alkuperänsä tai terveysvaikutusten perusteella. Luvussa 2.3 on keskitetty kokonsa puolesta jaettavaan luokkaan. Alkuperänsä puolesta jaettavasta luokasta tärkein on biologista alkuperää olevat mikrobit ja allergioita aiheuttavat eläin- ja kasvipöly. (Seuri & Palomäki 2000, 47; Korhonen & Lintunen 2003, 48)

Kosteissa tiloissa ja rakennuksissa, joissa esiintyy kosteusvaurioita, on usein runsasta mikrobikasvua (homeita, bakteereita). Kosteusvauriot synnyttävät itsessään mikrobeja ja joitain mikrobeja kulkeutuu sisäilmaan myös ilmanvaihdon kautta. Tämän vuoksi ihminen altistuu mikrobeille ja hänelle voi syntyä terveyshaittoja, mistä voi pidempiaikaisen altistumisen takia syntyä pitkäaikaissairaus. Jotta mikrobivaurio

voidaan todeta, on näytteen ottoon kiinnitettävä erityistä huomiota. Eläimistä ja kasveista johtuva pöly on tärkein sisäilmassa oleva allergian aiheuttaja. Tyypillisimpiä on kissoista ja koirista johtuva pöly. Pölypunkit aiheuttavat allergiaa, mutta ovat Suomessa harvinaisempia, kylmien talvien vuoksi. (Seuri & Palomäki 2000, 46–47; Korhonen & Lintunen 2003, 50)

Asbestin käyttö on Suomessa kielletty, mutta edelleen sitä löytyy runsaasti vanhoista rakennuksista. Asbesti on ominaisuuksiltaan hyvä rakennusmateriaali, mutta sillä on paljon haitallisia terveysvaikutuksia. Asbestikuituja tulee sisäilmaan rikkoutuneista materiaaleista, joissa on käytetty asbestia. Jotta asbesti voidaan poistaa, se tulee tehdä asbestipurkutyöhön erikoistuneiden ammattilaisten tekemänä. Pitkäaikainen asbestipölylle altistuminen aiheuttaa vakavia sairauksia, kuten syöpää. Suurempina pitoisuuksina voi vakavia sairauksia ilmetä jo muutaman viikon altistumisen johdosta. Koska asbestikuitu on erittäin pientä kooltaan (n. 0,03–3 mikrometriä), se pääsee hengitysteitä pitkin aina keuhkoihin asti ja kerääntyy sinne.

(Seuri & Palomäki 2000, 48; Korhonen & Lintunen 2003, 51; Puhakka & Kärkkäinen 1994, 49)

2.3 Pölyn ja pienhiukkasten lähteet ja niiden vaikutus sisäilmaan

Pöly voi olla joko orgaanisia tai epäorgaanisia leijuvia hiukkasia, jotka voidaan jaotella esimerkiksi kokonsa mukaan. Kaikkia ilmassa leijuvia hiukkasia kuvaa kokonaisleijuma eli TPS. Näistä hiukkasista suurin osa on karkeata pölyä, joiden hiukkaskoko ylittää halkaisijaltaan 10 µm. Karkea pöly on kooltaan sen verran suurta, että hengittäessä se ei mene hengitysteihin asti. Tässä opinnäytetyössä keskitytään kooltaan pienempiin pölyhiukkasiin, hengitettäviin hiukkasiin, jotka ovat Aerodynaamiselta halkaisijaltaan alle 10 µm (PM₁₀) sekä pienhiukkasiin: aerodynaamiselta halkaisijaltaan alle 2,5 µm (PM_{2,5}) että niitä pienempiin pienhiukkasiin, joiden halkaisija on alle 1 µm (PM₁). Kokonaisleijuman pöly muodostuu ulkoilmasta johtuvista lähteistä, kuten liikenteestä aiheutuvista päästöistä, sekä luonnosta peräisin olevasta pölystä ja ihmisen toiminnasta. Pinnoille laskeutuvat karkeat hiukkaset, jotka voivat orgaanisen pölyn osalta aiheuttaa allergisia oireita. Orgaaninen pöly si-

sältää mm. homeet, bakteerit ja ihmisperäisen pölyn. (Asumisterveysopas 2009, 139; Puhakka & Kärkkäinen 1994, 48)

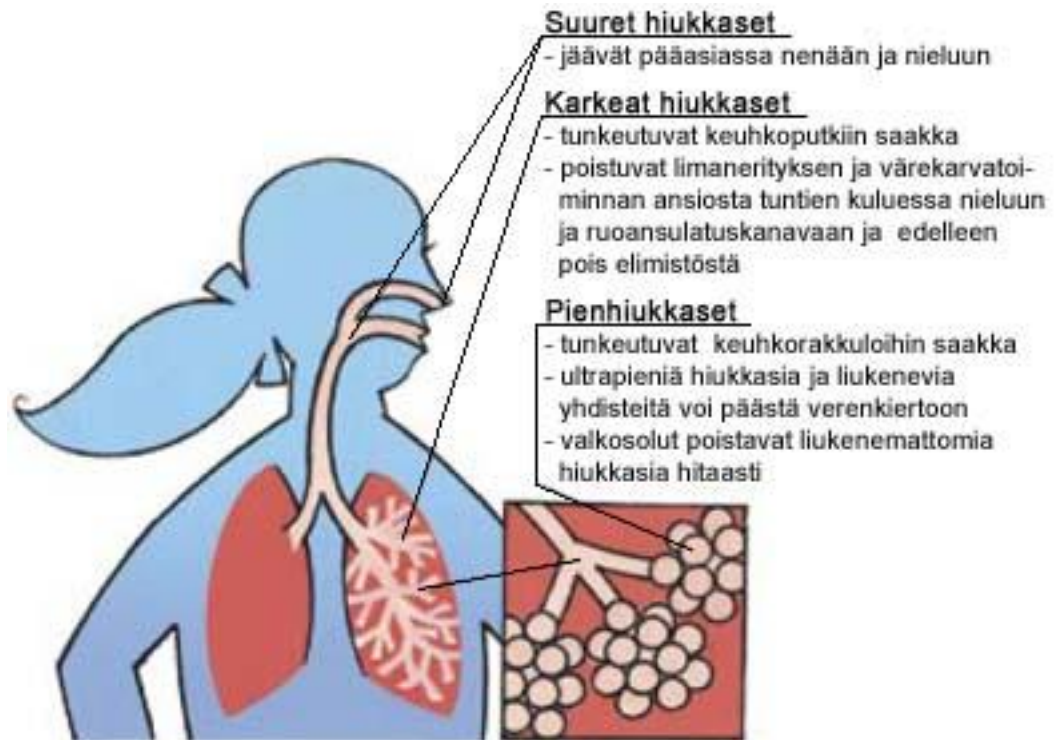
Karkeiden hengitettävien hiukkasten lähteitä ovat esimerkiksi liikenteestä tuleva pöly kuten jarru- tai asfalttipöly, maansiirtopöly, hiekkapöly, siitepöly ja homeitiöt. Pienhiukkasten lähteitä ovat mm. liikenteen ja pienpolton pakokaasut, lentotuhka, teollisuuden hiukkaspäästöt, noki- ja kaasupäästöt, jotka voivat johtua esimerkiksi tulivuoren purkauksesta tai ihmisten aiheuttamasta toiminnasta. Päästöt kulkeutuvat sisätiloihin, missä lisäksi voi olla tupakansavua ja muita sisälähteitä, mitkä huonontavat sisäilman laatua. Taulukosta 2 nähdään erikokoisten hiukkasten lähteitä. (Salonen & Pennanen 2006, 8, Hengityслиitto Heli Ry)

Taulukko 2. Erikoisten hiukkasten lähteitä (Hengityслиitto Heli)

Erikoisten hiukkasten lähteitä					
LÄHDE	Tupakansavu	Liikenne energiantuotanto	Katupöly	Siitepöly	hius
Koko(μm)	0,1	1	10	20	60

2.3.1 Pölyn terveysvaikutukset

Hiukkasten terveysvaikutukset riippuvat niiden fysikaalisista tekijöistä ja kemiallisesta olomuodosta. Fysikaalisia tekijöitä ovat hiukkasen koko ja muoto. Hengitettävät hiukkaset pääsevät nieluun ja ylähengitysteihin asti, mutta niitä vaarallisempina pidetään pienhiukkasia, jotka kulkeutuvat syvälle hengitysteihin ja keuhkoihin, mitä kautta haitalliset aineet voivat kulkeutua myös muualle elimistöön. Hengitettävät hiukkaset tarrautuvat värekarvoihin, joita on ylähengitysteissä ja kulkeutuvat tästä syystä pois elimistöstä liman mukana. Hiukkaset jotka kulkeutuvat keuhkoihin asti, eli pienhiukkaset, taas saattavat jäädä keuhkoihin jopa vuosiksi. Kuviosta 2 nähdään erikokoisten hiukkasten kulkeutuminen keuhkoihin ja elimistöön. Astmaatikot, keuhkosairauksia, sydämen vajaatoimintaa ja sepelvaltimotautia sairastavat ihmiset ovat väestöryhmiä, joiden altistuminen pienhiukkasille on vakavaa. Pienhiukkaset lisäävät myös lasten ja astmaatikkojen allergiaoireita, jotka voivat tästä syystä saada tavallista helpommin infektioita ja hengityselinten sairauksien oireita. Myös altistuminen isommille hengitettävälle hiukkasille(PM_{10}) saattavat pahentaa hengityssairauksia, kuten astmaa. (Salonen&Pennanen 2006, 7)



Kuvio 2. Erikokoisten hiukkasten kulkeutuminen elimistössä (Hengityслиitto Heli Ry)

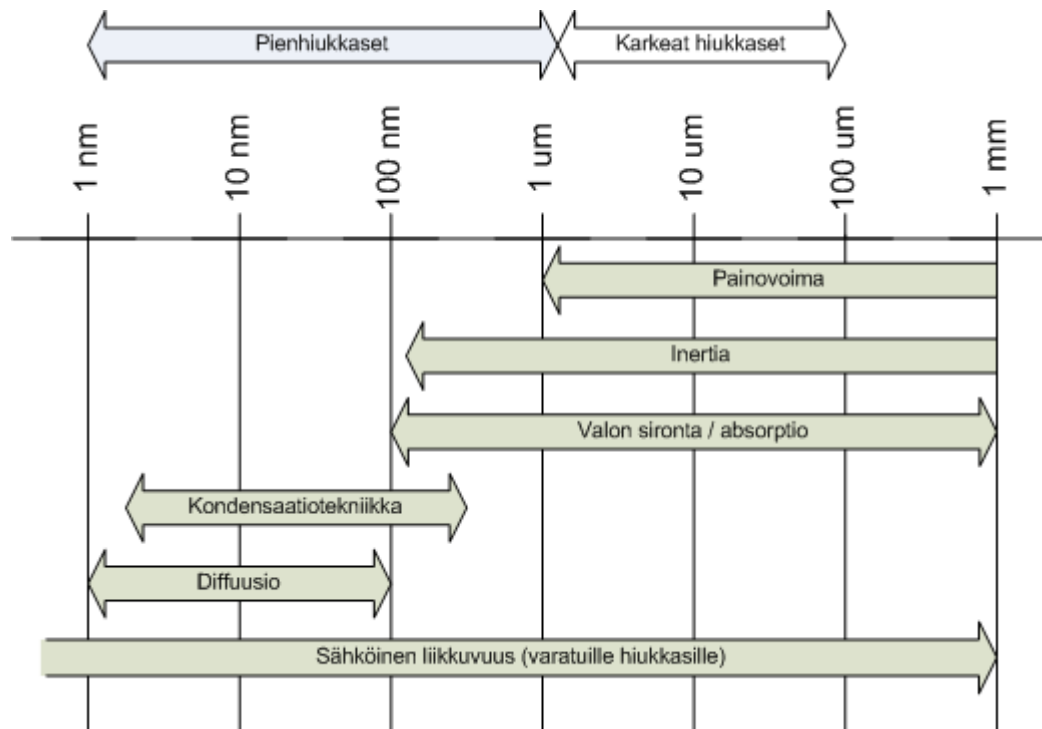
Suomessa terveydelle haitallisille pienhiukkasille pitkäaikaisaltistuminen johtuu suurimmaksi osaksi liikenteestä ja pienpoltosta, mistä haitallisimpia ovat epätäydellisestä palamisesta johtuvat pienhiukkaset. Pitkäaikainen altistuminen voi aiheuttaa ennenaikaista kuolemaa tai nopeuttaa jonkun vakavan sairauden etenemistä, kuten keuhkosityöpää. Tämä tulee kansantaloudelle kalliiksi: sairaslomien, sairauden hoitojen ja tutkimuksien vuoksi. Lyhtyaikainen altistuminen hengitettävillä hiukkasille kasvaa esimerkiksi keväisin liikenteestä syntyvästä katupölystä. Tämä aiheuttaa lieviä terveydellisiä haittoja ja tällöin voidaan aistia hetkellisesti että ilmanlaatu on huonoa. Kun pienhiukkaset ajautuvat sisätiloihin voi se aiheuttaa mm. jatkuvaa päänsärkyä ja väsymystä, mikä näkyy lisääntyneinä poissaoloina työpaikalta, sekä heikentyneenä työtehona. (Salonen & Pennanen 2006, 7)

3 MITTAUSLAITTEET

Tässä opinnäytetyössä keskitytään pääasiassa sisäilman hiukkasten mittaukseen. Koska työ käsittelee myös yleisesti passiivisia mittalaitteita, selitetään tässä luvussa lyhyesti myös muihin epäpuhtauksiin tarkoitettujen passiivisten mittalaitteiden toimintaa.

3.1 Sisäilman hiukkasten mittauslaitteet

Jotta pystytään valikoimaan oikea mittalaite ilman hiukkasten tutkimiseksi, tulee ottaa huomioon monta erilaista asiaa. Jotta mittauslaite valitaan oikein, täytyy olla tieto mitä halutaan mitata, onko se hiukkasten pitoisuus, kokojakauma, massakonsentraatio vai lukumäärä. Koska hiukkaset ovat erilaisia kokonsa, koostumuksensa ja muotonsa osalta ja niiden pitoisuudet ilmassa voivat vaihdella, ei mikään yksittäinen mittalaite pysty mittaamaan kaikkia näitä ominaisuuksia. Usein tarvitaan enemmän kuin yksi mittalaite, jotta ilman hiukkasista voidaan saada kokonaiskuva. Riipisen ja Lehtipalon mukaan erilaiset mittalaitteet hyödyntävät eri fysikaalisia ominaisuuksia, joita ovat painovoima, inertia, valon sironta, kondensaatiotekniikka, diffuusio ja sähkövaraus ja sähköinen liikkuvuus. Kuvioista 4 nähdään näiden eri mittausmenetelmien käyttöalueet, hiukkasten koosta riippuen. Hiukkasen todellista kokoa on mahdotonta määrittää. Yleensä voidaan määrittää joko aerodynaaminen, optinen tai liikkuvuushalkaisija mittaustavasta riippuen. Tästä syystä ei eri mittausmenetelmillä määritetyt hiukkasen halkaisijat ole verrannollisia keskenään. (Riipinen & Lehtipalo, 2009)



Kuvio 4. Hiukkasien mittausalueet, eri mittaustavoilla (Riipinen & Lehtipalo 2009)

3.1.1 Inertiaan perustuvat mittaussmenetelmät

Syklonit, impaktorit ja lentoaika-laitteistot ovat inertiaa hyödyntäviä mittalaitteita. Inertia tarkoittaa kappaleen taipumusta vastustaa liikettä, mikä tarkoittaa hiukkasista puhuttaessa sitä, että mitä suurempi massa hiukkasella on, sitä hitaammin se reagoi ilmvirran muutoksiin. Impaktori toimii esimerkiksi tavalla, jossa ilmvirtauksen liikesuunta muuttuu täysin ennen keräysalustaa, jolloin pienemmät hiukkaset kääntyvät ilmvirran mukana ja suuremmat jatkavat matkaansa, inertiaasta johtuen ja törmäävät keräysalustaan, jolloin hiukkaset on jaettu aerodynaamisen kokonsa puolesta kahtia. Impaktorissa voi olla monta eri keräys astetta ja näin hiukkaset saadaan jaettua moneen eri osaan. (Riipinen & Lehtipalo 2009)

3.1.2 Optiset mittaussmenetelmät

Optisia mittausslaitteita käytetään hiukkasten pitoisuuden ja kokojakauman määrittämiseen. Mittaustulokset saadaan reaaliajassa, eivätkä ne tarvitse kosketusta hiuk-

kaseen. Menetelmä perustuu valon sirontaan, mikä tarkoittaa valon osumista kappaleeseen, josta se jatkaa edelleen matkaa, heijastuu tai taittuu. Se kuinka paljon valo siroaa tai absorboi hiukkasen kanssa, eli kuinka paljon valo imeytyy hiukkaseen, riippuu hiukkasen koosta ja koostumuksesta. Optisella mittalaitteella ei voida mitata 100 nanometriä pienempiä hiukkasia, ellei kyseessä ole kondensaatiohiukkaslaskuri, valon aallonpituuden vuoksi. Optisia mittaussmenetelmiä, ovat esimerkiksi: optinen hiukkaslaskuri, kondensaatiohiukkaslaskuri, jolloin hiukkasten pinnalle tiivistetään vesi-tai alkoholihöyryä, fotometri ja nefelometri. (Riipinen & Lehtipalo 2009)

3.1.3 Sähkövaraukseen perustuvat menetelmät

Sähkövaraukseen perustuvalla menetelmällä voidaan mitata hiukkasten kokoja-kaumaa ja mitata niiden pitoisuuksia. hiukkasista luonnollisesti varautuneita on n. 1-10 %, mutta ne voivat varautua myös ionisoivasta säteilystä, kuten kosmisesta taustasäteilystä. Jos hiukkanen on sähköisesti varautunut, voidaan sen liikettä seurata ja ohjata. Nämä menetelmät soveltuvat myös erittäin pienille hiukkasille, toisin kuin optiset mittaussmenetelmät ja inertiaan perustuvat menetelmät. (Riipinen & Lehtipalo 2009)

3.2 Ilman epäpuhtauksien mittaaminen passiivisesti

Ilman epäpuhtauksien mittaaminen passiivisesti, passiivikeräimellä on halpa ja helppo tapa mitata. Mittaus aktiivisesti tapahtuu esimerkiksi pumpun avulla, jolloin mitattavia ainesosia saadaan tehokkaammin keräimeen. Tällöin mittausaika tulee määrittää tarkasti ja paikalla tulee olla myös ammattilainen joka osaa käyttää tarvittavaa laitteistoa. Passiivikeräin on kooltaan pieni ja kevyt, joka voidaan tarpeen tullen lähettää työpaikalle missä mittauksia tarvitaan ja mittaukset pystytään tekemään niin, että se ei häiritse normaalia työntekoa. Passiivikeräimen positiivisena puolena on myös se, että siinä ei ole liikkuvia osia, eikä se pidä ääntä. Mittausaika voi vaihdella 1 tunnista, jopa kuukauteen. Passiivikeräimellä voidaan tehdä henkilökohtai-

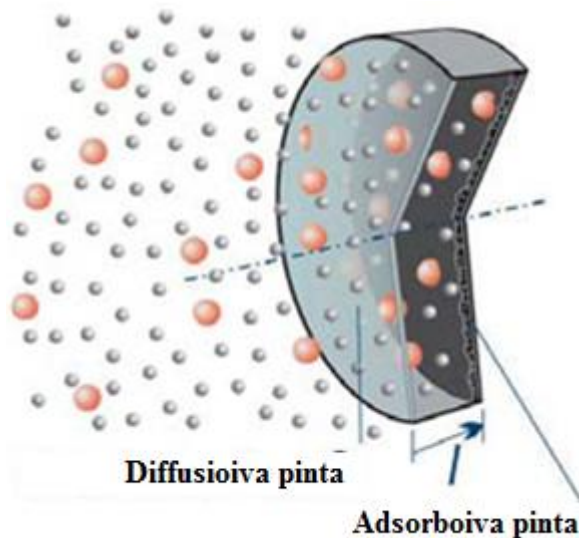
sia mittauksia tai mittauksia, missä mitataan huoneilmaa yleisesti. Kun mittauksia tehdään henkilökohtaisesti, asetetaan passiivikeräin esimerkiksi työntekijän rintaan, jolloin passiivikeräin kulkee työntekijän mukana ja näin ollen pystytään mittaamaan todellisia epäpuhtauksille altistumisen määriä työpäivän aikana. Passiivikeräimellä tehtäviin mittauksiin ei tarvita sähköä tai muita apuvälineitä, kuten pumppuja. Mittauksia voidaan tehdä sekä ulko- että sisäilmassa. (Schneider, Schlünssen, Vinzents & Kildesø 2002, 187)

Passiivikeräys perustuu yleensä kaasujen diffuusioon. Kaasumolekyylit diffusioituvat keräimeen, jossa ne tarrautuvat adsorbenttiin. Tämän jälkeen keräin lähetetään analysoitavaksi laboratorioon. Passiivisesti tehdyt mittaukset voivat olla suuntaa antavia, eivätkä välttämättä kerro tarkasti, kuinka paljon jotain tiettyä kemiakaalia tai epäpuhtauksia on ilmassa. (Report on passive samplers for atmospheric chemistry Measurements and their role in Gaw 2)

3.2.1 Passiivikeräimen toimintaperiaate

Yleisempien Passiivikeräinten toimintaperiaate perustuu diffuusioon, joka ns. kerää epäpuhtaudet ilmasta. Passiivikeräimen sisällä oleva pinta reagoi joko kemiallisesti, esimerkiksi värimuutoksen avulla tai sitten se adsorboi aineen itseensä kiinni, jonka jälkeen pinta voidaan analysoida. Myöhemmin kerrotaan myös elektrostaattisesta passiivikeräimestä ja sen toimintaperiaatteesta pölyn keräyksessä. (Report on passive... 2)

Diffuusio tarkoittaa sitä, että kaasumolekyylit törmäilevät lämpöliikkeensä johdosta hiukkasiin ja toisiinsa ja alkavat liikkumaan satunnaisesti väkevämmästä pitoisuudesta laimeampaan. Passiivikeräyksessä, voima joka siirtää epäpuhtauksia ilmasta keräimeen on diffuusio, joka toimii ilman ja passiivikeräimen pinnan konsentraatioeroina mitattavalla aineella, tällöin aine siirtyy suurempi pitoisesta ilmasta pienemmän pitoisuuden omaavaan passiivikeräimeen. Diffuusiokeräimen toiminnan periaate nähdään yksinkertaistettuna kuvioista 5.



Kuvio 5. Diffuusiokeräimen toimintaperiaate (Sigma-Aldrich, muokattu)

Jotta ainemäärä ilmassa voidaan laskea, tulee tietää mittausaika ja passiivikeräimen mitat, kuten keräimen poikkileikkaus. Matemaattisesti ainemäärä pystytään laskemaan Ficksin 1. lain perusteella, mikä näkyy yksinkertaistettuna kaavassa 1

Ficksin laissa ainemäärä n on

$$n = -D_k \cdot A \cdot \frac{c}{x} \cdot \Delta t \quad , \quad (1)$$

jossa c on aineen pitoisuus, A on keräimen poikkileikkauspinta-ala, x on keräimen pituus (cm), D_k on diffuusiokerroin ja Δt on mitattu aika

Jotta diffuusio toimii, keräimessä on adsorboiva materiaali, mihin tutkittava aine kiinnittyy. Ja jotta ainemäärä voidaan laskea Ficksin 1 lain mukaan, on oletettava, että kaikki aine on adsorboitunut. (Parla & Commission for the investigation of health hazards of chemical compounds in the work area 2005, 6-7)

3.2.1.1 Adsorptioon perustuvat keräimet

Adsorptiossa kaasumainen aine muodostaa pinnan adsorboivalle kalvolle tai pinnalle. Diffuusion perustuvassa passiivikeräimessä, aine siirtyy diffuusio voiman

pakottamana keräimeen, jossa se tarrautuu kiinni passiivikeräimen sisällä olevalle pinnalla. Mittauksen jälkeen adsorboitunut pinta tulee analysoida laboratoriossa, jolloin adsorboitunut aine poistetaan desorbtiolla avulla. Jotta voidaan tutkia tiettyä ainemäärää ilmassa, tulee adsorbentti valita niin, että se reagoi vaan tutkittavan aineen kanssa esimerkiksi mitattaessa typpioksidia(NO_2) voidaan adsorbenttina käyttää trietanoloamiinia($\text{C}_6\text{H}_{15}\text{NO}_3$). (Report on passive samplers for atmospheric chemistry Measurements and their role in Gaw, 2, Parla & Commission for...2005, 10)

3.2.1.2 Kemialliseen reaktioon perustuvat keräimet

Kemialliseen reaktioon perustuvat passiivikeräimet voivat olla joko sellaisia, mistä näkee tuloksen heti tai ne tarvitsevat laboratorio analyysin. Jotta tuloksen näkee heti, on reagenssilla päällystettynä materiaalina oltava aine, joka muuttaa väriään, kun tietty raja-arvo tutkittavaa ainetta materiaalin pinnalla ylittyy. Reagoiva materiaali voi olla esimerkiksi jollain kemikaalilla päällystettyä piidioksi- eli siligageeliä tai erikoispaperia. Tämän tyyppisistä keräimistä ei voida nähdä tarkkoja tuloksia, vaan ne ovat suuntaa antavia ja niistä voidaan nähdä onko epäpuhtauksia ilmassa paljon, vähän vai ei lainkaan. Analyysi perustuu visuaalisuuteen ja eri väri-standardien vertailuun. Esimerkiksi formaldehydien määrää voidaan tutkia tällä menetelmällä. (Parla & Commission for...2005, 12, 14)

Laboratoriossa analysoitava menetelmä perustuu absorptioon, mikä tarkoittaa tutkittavan aineen imeytymistä reagoivaan materiaaliin, eli passiivikeräimen sisällä olevaan absorboivaan materiaaliin. Tällaisia passiivikeräimiä ovat tuubimaiset keräimet. Mittauksen jälkeen neste analysoidaan laboratoriossa spektrometrin avulla. (Parla & Commission for... 2005, 13)

3.2.2 Diffuusiokeräimeen vaikuttavat tekijät

Passiivikeräimen toimivuuteen vaikuttavia tekijöitä ovat lämpötila, ilmanpaine, ilman kosteus, ilman virtaukset, mittausaika ja mitattavan aineen konsentraatio. Lämpötila ja ilmanpaine vaikuttavat kuitenkin vain pienissä määrin diffuusioon perustuvan keräimen toimintaan, joten niitä ei tarvitse ottaa huomioon, elleivät ne ole huomattavasti poikkeavia. Passiivikeräin toimii normaalisti, lämpötilan ollessa välillä 0-40 °C. (Parla & Commission for... 2005, 7)

3.2.2.1 Ilman kosteus

Ilman kosteuden vaikutus riippuu minkä tyyppinen ja muotoinen passiivikeräin on ja mitä ovat keräimen reagoivat aineet. Esimerkiksi jos kerättävänä aineena on *n*-heksaani, on yli 40 % ilman kosteudella jo vaikutusta tuloksiin. Keräimien valmistajat kuitenkin ilmoittavat, mikä on sopiva ilmankosteus, missä mittaukset tulisi tehdä ja yleensä maksimi ilmankosteus on n.65 % (Parla & Commission for...2005,7)

3.2.2.2 Ilman virtaus

Diffuusio muuttuu ilman virtauksen vaikutuksesta. Ficksin 1 laki on voimassa vain pysyvissä olosuhteissa. Olosuhteet kuitenkin muuttuvat, varsinkin ulkoilmassa ja siksi tätä voi olla vaikea noudattaa käytännössä, mittauksia tehdessä. Voimakkaat ilmavirtaukset voivat saada aikaan vääriä tuloksia. Jotta se voidaan välttää, on keräimen rakenne tärkeä. Passiivikeräimelle voidaan esimerkiksi tehdä ohut ja huokoinen kuori erilaisista materiaaleista esim. teräsverkosta tai geometrisesti suunnitella keräimen rakenne niin, että ilman virtaukset eivät pääse vaikuttamaan tuloksiin. Jotta diffuusiokeräimiä voidaan käyttää, täytyy ilma virtauksen olla minimissään yleisimmissä malleissa 0,1-0,2 m/s. (Parla & Commission for...2005,8-9)

3.2.2.3 Mittausaika ja epäpuhtauksien pitoisuus

Tutkittavan aineen pitoisuus ilmassa voi olla korkea. Tästä syystä tietyillä keräimillä on ongelmia saada tarkkaa tulosta. Mittausaika voi olla liian lyhyt tai pitkä. Jos mittausaika on liian lyhyt, ei tulosta välttämättä saada ollenkaan. Mittausajan ollessa liian pitkä voi tuloksien tarkkuus kärsiä. Jotta ongelmilta välttyttäisiin, tulee etukäteen olla tietoa, kuinka paljon epäpuhtautta ilmassa suunnilleen on ja tästä syystä valita oikea passiivikeräin ja mittausaika. (Parla & Commission for...2005, 8-9)

3.2.3 Analyysit

Kun näytteitä otetaan passiivikeräimellä, täytyvät näytteet analysoida laboratoriossa, ellei kyse ole kemiallisesta reaktiosta, jossa värin vaihdon avulla voidaan nähdä tulokset heti mittaustilanteessa. Riippuen tutkittavasta aineesta ja minkälaisella passiivikeräimellä näytteitä otetaan, minkälainen laboratorioanalyysi tarvitaan. Yleisimmin näytteet analysoidaan kromatografisesti, spektrometrisesti tai visuaalisesti. Tässä opinnäytetyössä analysointi tapahtuu gravimetrisesti, määrittäen hiukkasten massapitoisuus punnitsemalla.

3.2.4 Gravimetrisen analysointi

Gravimetrisellä analysoinnilla määritetään hiukkasten massapitoisuus. Perinteinen tapa on punnita mittalaitteeseen kerättyjen hiukkasten massa. Aerosolipitoisuuksien mittausaika voi vaihdella muutamasta minuutista päiviin, jotta gravimetrisen analysointi voidaan tehdä. Pitoisuuksien määrät riippuvat suuresti mittausajasta ja mittauspaikan pitoisuudesta. Gravimetrisen analysoinnin avulla voidaan määrittää hengitettävien hiukkasten ja pienhiukkasten määrää ilmassa. Gravimetrisessä analysoinnissa mittaustarkkuus voidaan saavuttaa jopa $\pm 1 \mu\text{g}$, mutta tämä vaatii erittäin tarkan punnituslaitteen. Gravimetrisen analysointi on erittäin herkkä suhteelliselle kosteudelle, staattiselle sähkölle ja ilmanpaineelle. Jotta vaadittava mittaustarkkuus voidaan saavuttaa, on mittaukset hyvä suorittaa siihen tarkoitettu punnitushuo-

neessa missä olosuhteet tiedetään ja ne ovat vakiot. Gravimetrinen analysointi on yleisesti käytetty yksinkertainen ja halpa tapa määrittää massapitoisuus. Massapitoisuutta määrittäessä ei pystytä määrittämään partikkelien kokojakaamaa, vaan sen avulla määritetään hiukkasten kokonaismassa. Massapitoisuus voidaan määrittää kaavan 2 avulla. (Hinds 1999, 217)

Massapitoisuus c_V on

$$c_V = \frac{M}{V} = \frac{M}{q_V \Delta t} \quad , \quad (2)$$

jossa M on kokonaismassa, V on ilman tilavuus, q_V on tilavuusvirta ja Δt on mitattava aika

3.3 Erilaisia passiivikeräimiä

Passiivikeräimiä on kehitetty monia erilaisia, erilaisille yhdisteille. Niillä voidaan mitata eri kemiallisia yhdisteitä, haihtuvia orgaanisia yhdisteitä (VOC-kaasuja), sekä hiukkasia, kuten pölyä. Pölylle ei vielä ole kaupallisia passiivikeräimiä, mutta niitä on kehitetty erilaisia prototyypppejä, joista enemmän luvussa 4. Yleisimpiä passiivikeräimellä mitattavia epäpuhtauksia ovat rikkidioksidi, typpidioksidi ja muut typpiyhdisteet, aldehydit, otsoni ja orgaaniset yhdisteet. Näiden mittaamiseen on kehitetty erilaisia malleja ja tekniikoita. Kuten aikaisemmin on kerrottu, niiden toiminta perustuu yleisesti ottaen diffuusioon ja mittauksen jälkeen ne tulee analysoida laboratoriossa. Passiivikeräimillä voidaan mitata joko ulko- tai sisäilmassa, josta riippuen niiden koko ja rakenne vaihtelevat. Tämä projekti keskittyy passiivikeräimiin jotka ovat tarkoitettu hiukkasten pitoisuuksien mittaamiseen. (Report on passive samplers for atmospheric chemistry Measurements and their role in Gaw, 6)

3.3.1 Sisäilman passiivikeräimet

Yleisimmin passiivikeräimellä sisäilmassa mitataan eri kemiallisia yhdisteitä, kuten rikkidioksi tai typpidioksidi, sekä VOC-kaasuja. Kaupallisia passiivikeräimiä on saatavilla monenlaista eri tyyppiä ja mallia ja ne ovat suhteellisen edullisia. Sisäilmassa passiivikeräimet toimivat parhaiten, koska ympäristön olosuhteet, kuten ilmanvirtaus ja paine pysyvät yleisesti ottaen lähes samana. (Report on passive samplers for atmospheric chemistry Measurements and their role in Gaw, 6)

3.3.2 Ulkoilman passiivikeräimet

Ulkoilman passiivikeräimet toimivat samalla periaatteella, kuin sisäilmankin. Ulkoilman keräimet ovat usein kooltaan isompia ja ne tulee suojata muuttuvilta olosuhteilta, kuten sateelta ja tuulelta. Lämpötilan vaihtelut tulee ottaa huomioon mitauksia tehdessä. Mittausajat ovat usein pitempiä, kuin sisäilmassa tehdyissä mitauksissa. Keräimiä ei myöskään käytetä henkilökohtaisesti, vaan ne esimerkiksi asetetaan kohtaan missä tutkittavan aineen pitoisuudet ovat korkeita. Ulkoilman passiivikeräimillä voidaan mitata mm. typpi- ja rikkiyhdisteitä, otsonia ja VOC-kaasuja. Ulkoilman keräimien toiminta perustuu useimmiten diffuusioon. Kuviossa 6 on esimerkki yksinkertaisesta VOC-kaasuja mittaavasta ulkoilman passiivikeräimestä. (McAlary 2009)



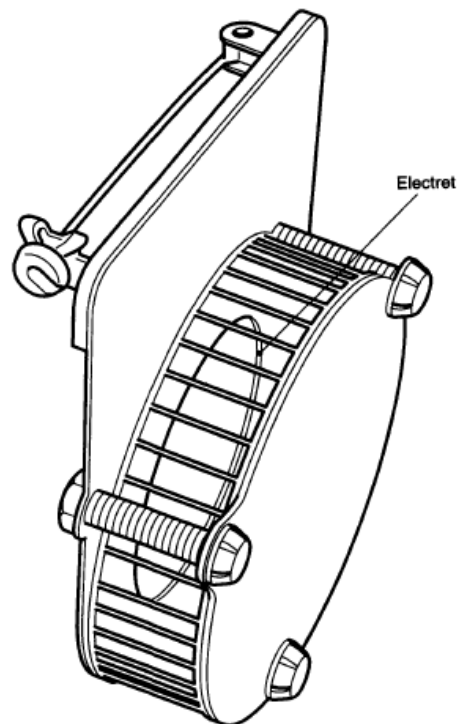
Kuvio 6. Ulkoilman passiivikeräin (McAlary 2009)

4 PASSIIVIKERÄIMET PÖLYLLE

Pölyn mittaukseen tarkoitetuista passiivikeräimistä on kehitetty erilaisia prototyypppejä, joista yksikään ei vielä ole kaupallinen. Kaasuille ja kemikaaleille tarkoitettut passiivikeräimet toimivat diffuusion avulla, joka toimii hyvin siksi, että kaikki kaasumolekyylit ovat massansa suhteen yhdenmukaisia ja ovat tämän vuoksi myös yhtä nopeita, jolloin tulokset joita diffuusiokeräimellä saadaan, ovat paikkansa pitäviä. Koska pölyhiukkaset ovat erimuotoisia ja massaltaan erilaisia ja niiden nopeus on molekyylejä paljon hitaampi, ei diffuusiovoima riitä keräämään tarpeeksi pölyhiukkasia ja tämän vuoksi diffuusioon perustuvat keräimet eivät anna tarkkoja tuloksia pölymäärästä. Gravitaatioon ja elektreettisuuteen perustuvat keräimet toimivat pölyn mittauksessa paremmin. Tässä kappaleessa keskitymme viiteen erilaiseen pölyn mittaukseen tarkoitettuun passiivikeräimeen, jotka toimivat eri periaatteilla: Elektreetti- eli sähköiseen keräimeen, minkä toiminta perustuu elektreettiin, eli pysyvästi varautuvaan kalvoon, joka vetää hiukkasia puoleensa, Vinzentsin henkilökohtaiseen pölyn testaamismenetelmään, missä tarrautuvien kalvojen avulla voidaan analysoida pölyn määrää, gravitaatioon, inertiaan ja diffuusioon perustuva UNC-pölynmittaaja, gravitaatioon perustuva henkilökohtainen aeroallergeenien kerääjä(PAAS) sekä, IOM-aktiivikeräimen käyttö passiivisesti, ilman normaalisti käytössä olevaa pumpua. (Yamamoto, Hikono & Koyama 2006, 1442, Wagner & Leight 2000, 33, Brown 1997, 4)

4.1 Elektreetti keräin

Elektreetti keräin, eli sähköinen keräin on kevyt ja pienikokoinen, jota on helppo kantaa mittausta tehdessä. Laite kerää hiukkasia staattisen vetovoiman avulla. Näytteenotin koostuu elektreettikalvosta ja kiinteästä ja johtavasta alustasta, jossa ladatut varatut hiukkaset ovat kiinni. Alusta on suojattu verkolla, joka rajaa sisäänsä sähkökentän, eikä päästä isompia hiukkasia passiivikeräimen sisään. Alusta on tehty polypropyleenistä ja sen halkaisija on 25mm, mikä vastaa yleisimpiä standardi filtereitä mittauksissa. Kuviossa 7 voidaan nähdä elektronisen passiivikeräimen prototyyppi. (Hemingway, Strudley, Brown, Froude & Smith 1997. 653–654)



Kuvio 7. Elektroninen passiivikeräin (Hemingway ym. 1997 654)

Jotta keräintä voidaan käyttää, tarvitsee siihen ensin ladata sähköinen varaus, joka on $n \pm 1000V$. Mittauksia tehdessä laite ei tarvitse sähköä, eikä muita apuvälineitä. Keräimen toiminta perustuu hiukkasten elektroniseen liikkuvuuteen ja polaarisuuteen. (Hemingway... 1997, 653, Burdett & Bard 2007, 122)

Elektronisella passiivikeräimellä tehtyjen mittauksien tulos, li ilman hiukkaskonsentraatio voidaan laskea kaavan 3 avulla:

Ilman hiukkaskonsentraatio c on

$$c = k \cdot \frac{M}{V_t} \quad , \quad (3)$$

jossa M on kerätyn pölyn kokonaismassa(g), V_t on alustan jännite(V) ja k on kalibrointikerroin

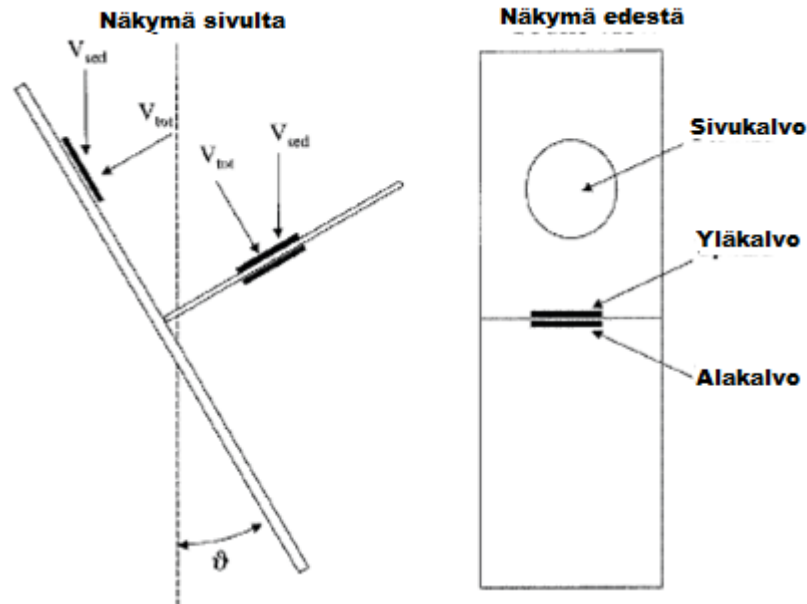
Tulokset voidaan analysoida eri tavoilla, röntgen spektrometrillä, elektronisella tai optisella mikroskoopilla, sekä gravimetrisesti, jolloin näyte siis punnitaan. (Hemingway ym. 1997 653)

Elektronisella passiivikeräimellä on tehty mittauksia laboratorio-olosuhteissa, leipomoissa, kumi- ja väriaineteollisuudessa, sekä mitattu asbestipitoisuuksia. Näistä on saatu hyviä tuloksia, kun kyseessä on jokin tietty paikka, jossa olosuhteet pysyvät koko ajan samana. Jos samalla mittauksella esimerkiksi tehtaassa liikutaan toimipisteestä toiseen, ovat mittaustulokset olleet epävarmoja. Jotta tulokset pätevät, verrattuna aktiivikeräimillä tehtyihin tuloksiin, täytyy olosuhteiden olla stabiilit. Mittauksia on tehty myös ulkoilmassa, jolloin mittaustulokset ovat poikenneet jonkin verran oikeista. Tämä voi johtua joko epävakasta olosuhteista esim. lämpötilan ja ilmankosteuden johdosta tai siitä että elektronien varaus on jostain muusta syystä kadonnut kesken mittauksen. Tutkimukset ovat myös osoittaneet, että jotta voidaan tehdä pidempiaikaisia mittauksia, tulee ladattujen elektronien olla kooltaan pieniä, jolloin varaus pysyy keräimessä paremmin. (Hemingway ym. 1997, 658, Hemingway 2002, 3,12)

4.2 Vinzentsin passiivikeräin

Vuonna 1996 Vinzents kehitti passiivikeräimen pölylle, jonka mittaukset perustuvat valon häviämiseen ja läpikuultaviin kalvoihin. Pölyn keräys perustuu kolmeen tahmaiseen läpikuultavaan kalvoon, jotka ovat sijoitettu keräimeen niin, että ne keräävät pölyn ylhäältä, alhaalta ja sivulta. Pölyn laskeutuminen kalvoille perustuu gravitaatioon, Brownian diffuusioon ja turbulenttiseen diffuusioon. Kalvot asetetaan

kartongista tai muovista valmistetuille alustoille, jotka on suunniteltu niin että niitä voidaan käyttää apuna myös mittauksia analysoitaessa. Alustat kiinnitetään jalustalle ja laitetta siirtäessä kalvot suojataan pronssista tehdyillä kiinnikkeillä. Kuvios-
ta 8 voidaan nähdä kuva valmiista laitteesta. (Vinzents 1996 261–262)



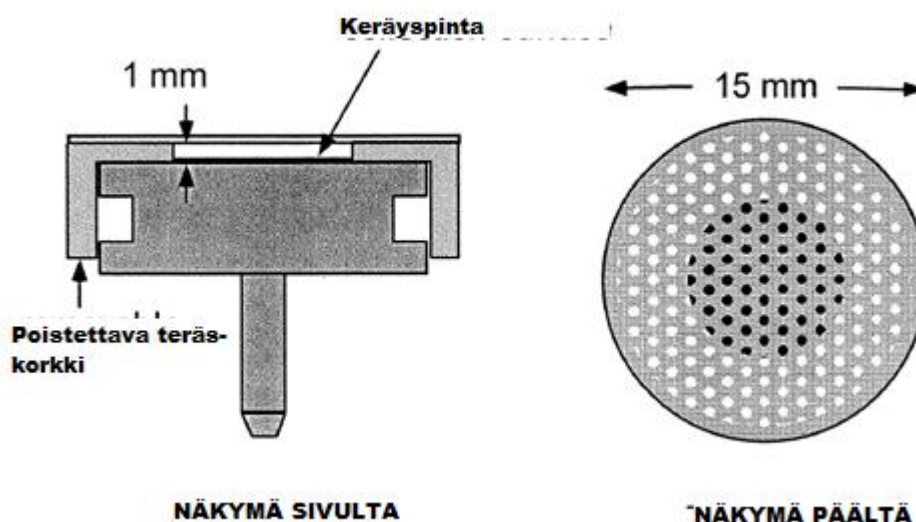
Kuvio 8. Vinzentsin passiivikeräimen malli pölylle (Schneider, Schlünssen, Vinzents & Kildesø J 2002 188, muokattu)

Mittaustulosten analysointi tapahtuu joko mikroskoopin tai laserin, joka analysoi valon katoamista, avulla. Aikaisemmissa tutkimuksissa mikroskoopilla (kuten Vanox-T, Olympos) on arvioitu partikkeleiden kokoa ja niiden asettumista kalvoille, jonka jälkeen on pystytty laskemaan mittajakauma ja massakonsentraatio. Valon häviäminen on mitattu laserin avulla, jonka aallonpituus on 670nm. (Vinzents 1996 266)

Vinzentsin passiivikeräimellä pystytään mittaamaan pölyn massakonsentraatioita, sisään hengitettävän pölyn konsentraatiota ja arvioida sen mittajakaumaa. Passiivikeräin on nopea ja halpa mittaustapa henkilökohtaiseen mittaukseen ja sitä on testattu monilla eri teollisuuden aloilla, kuten puu- ja metalliteollisuudessa. Vinzentsin passiivikeräin on kooltaan jonkin verran isompi, kuin muut esiteltävät passiivikeräimet ($14 \times 6 \times 5 \text{ cm}^3$), mutta se soveltuu silti hyvin henkilökohtaisiin mittauksiin. (Vinzents 1996 266; Schneider ym. 2002 188)

4.3 Passiivikeräin aerosoleille(UNC-passiivikeräin)

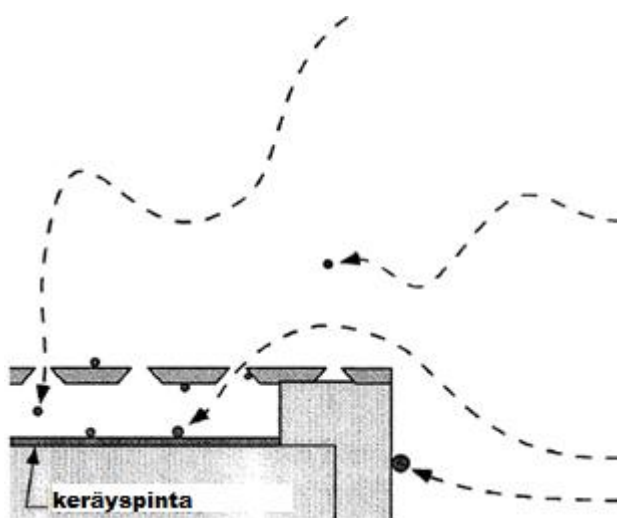
Aerosoleille tarkoitetun passiivikeräimen ovat kehittäneet Jeff Wagner ja David Leith Pohjois- Carolinan yliopistosta. Se on halpa ja helppo rakenteeltaan ja sitä voidaan käyttää pitkä aikaisiin mittauksiin. Sen toimivuus perustuu painovoimaan, inertiaan ja diffuusioon. Sen mittaustulokset analysoidaan erilaisten mikroskooppien avulla ja sillä pystytään mittaamaan partikkelikooltaan suurempia kuin $0,1\mu\text{m}$:n hiukkasia. Analysoinnin avulla pystytään määrittämään ilman massakonsentraatio ja kokojakauma mittausajalta. (Wagner & Leith 2001 186–187)



Kuvio 9. Aerosoleille tarkoitettu passiivikeräin (Wagner & Leith 2001 187, muokattu)

Passiivikeräin on kooltaan hyvin pieni ja painaa vain n. 1,7 g. Kuviosta 9 nähdään passiivikeräimen rakenne. Keräimen runko on rakennettu alumiinista tai hiilestä. Alumiinista rakennetut keräimet soveltuvat paremmin hiukkasten kokojakauman mittaamiseen ja hiilestä rakennetut mittauksiin, joissa ollaan kiinnostuneita myös siitä, mitä alkuainetta ilman tutkittavat hiukkaset ovat. Rungon päällä on suojuus, jonka halkaisija on 1,5 cm. Suojuus pitää paikallaan metalliverkkoa, jonka läpi hiukkaset kerääntyvät mittauspinnalle. Mittauksen ajaksi suojuksen ja verkon väliin suihkutetaan sprayta, joka pitää verkon tiiviisti paikallaan, mutta sallii sen irrotuksen analyysijä varten. Keräyspinta on verkon alapuolella, kuten kuviosta 8 voidaan

nähdä. Keräyspinnan ja verkon välissä on 1,2 mm väliä ja keräyspinnan halkaisija on 6,8 mm. Verkon paksuus on 127 μm . Verkon tarkoituksena on estää suurien partikkelien, kuten hiekan ja hiuksien pääsy keräyspinnalle. Kuviosta 10 nähdään, että verkon reiät ovat ala- ja yläpuolelta erikokoisia. Reiän halkaisija on alapuolelta 225 μm ja yläpuolelta 160 μm . Erikokoisuus edistää diffuusion vaikutusta ja kerää pieniä partikkeleita tehokkaammin keräimeen ja osaltaan myös estää suurempien partikkelien pääsyn keräyspinnalle. Keräyspinta voi olla valmistettu polykarbonaatista, lasista tai hiilestä. Keräyspinnan materiaalista riippuu myös, minkälaisella mikroskoopilla analysointi tulisi tehdä. (Wagner & Leith 2001 187–188)



Kuvio 10. Verkon reikien kasvaminen (Wagner & Leith 2001 188, muokattu)

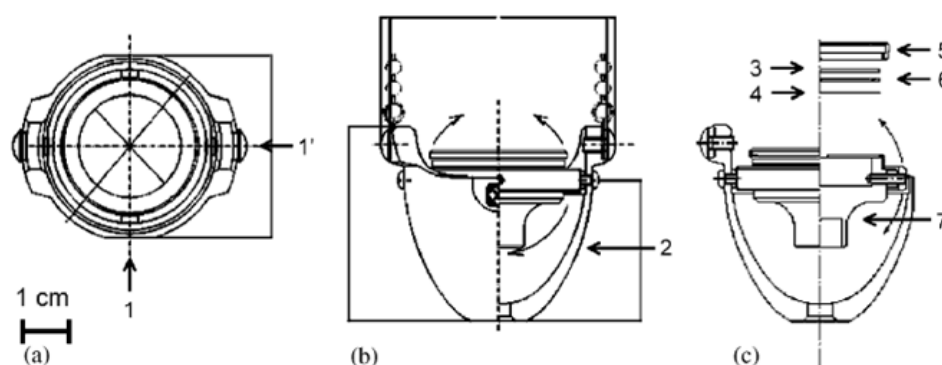
Kun mittaukset on tehty, suojataan keräin ja kuljetetaan laboratorioon. Laboratoriossa mittaukset tehdään mikroskoopin ja kuvantamisohjelman avulla. Mikroskoopin valinta riippuu siitä, mitä ilmasta halutaan tutkia ja mitä materiaalia on käytetty keräyspintana. Jos halutaan tutkia näytteestä eri alkuaineita, on röntgen-ilmaisim siihen paras. Yleisimmin on kuitenkin elektroninen mikroskooppi paras analyysieihin. Elektronisen mikroskoopin avulla voidaan laskea partikkeleiden kokojakauma ja massakonsentraatio. (Wagner & Macher 2003 630; Wagner & Leith 2001 188)

Tutkimukset ovat osoittaneet, että Wagnerin ja Leithin kehittämällä passiivikeräimellä saadaan kohtuullisen hyviä tuloksia aikaan. Keräimellä tehdyissä mittauksissa on myös ongelmia, mitkä tulee ottaa huomioon. Jos partikkeleiden konsentraation on pieni, eivät tulokset ole luotettavia. Keräimeen myös kertyy puolihihtuvia orgaanisia aineita, vaikka tarkoitus olisi kerätä pienhiukkasia. Koska analyysien

tekemiseen tarvitaan ammattitaitoa, tulee mittauksien tekeminen myös kohtuullisen kalliiksi. (Wagner & Macher 2003 639)

4.4 PAAS-passiivikeräin

PAAS-passiivikeräin on henkilökohtainen aeroallergeenien kerääjä, jonka toiminta perustuu ilmassa olevien karheiden partikkeleiden keräämiseen painovoiman avulla. Se on suunniteltu keräämään aeroallergeeneja, kuten sienien itiöitä, kasvien siitepölyä ja punkkien jätteitä. Koska näiden hiukkasten koko on usein kohtuullisen suuri PM_{10} – PM_{60} , käyttäytyvät ne ilmassa oletetulla tavalla, painovoimasta vuoksi. On kuitenkin tehty myös tutkimuksia, joissa keräintä on käytetty pölyhiukkasten keräämiseen. (Yamamoto 2006 1442–1443)



Kuvio 11. PAAS-passiivikeräimen rakenne (Yamamoto 2006 1443)

PAAS-keräimen rakenne(kuvio 11) koostuu kahdesta erikokoisesta ympyrän muotoisesta levystä, jotka pyörivät jokaiseen suuntaan, huolimatta keräimen alustan kallistumasta. Tämän vuoksi voidaan olettaa, että partikkelit tulevat keräimeen aina horisontaalisesta kulmasta ja keräyspinta pysyy aina samankokoisena. Näiden välissä on suodatin, joka kerää absorbentin avulla hiukkaset keräimeen. Keräin toimii oikein, kun käyttäjä pitää sitä kaulansa ympärillä, jotta se on mahdollisimman lähellä hengitysteitä (kuvio 12). Analysointi tapahtuu optisella mikroskoopilla, jonka resoluutio on vähintään $2,7 \mu m$. (Yamamoto 2006, 1442–1443).



Kuvio 12. PAAS-passiivikeräimen sijainti mitattaessa (Yamamoto 2006 1444)

Keräintä on käytetty tutkimuksissa mittaamaan aeroallergeeneja. Tulokset ovat olleet hyviä verrattaessa aktiivisella keräimellä (IOM) tehtyihin mittauksiin. Mittausaika on viidestä tunnista kuuteen päivään. PAAS-passiivikeräin on herkkä ilman turbulensseille eikä se tästä syystä välttämättä sovellu ulkoilmaan tehtäviin mittauksiin. Tuloksissa tulee ottaa huomioon partikkeleiden kokojakauma, joten jos partikkelit ovat hyvin pieniä, ei keräin sovellu mittaukseen. (Yamamoto 2006, 1453)

4.5 IOM-aktiivikeräin passiivisesti käytettynä

IOM-aktiivikeräimellä on tehty pölyn mittauksia, niin että keräintä on käytetty passiivisesti ilman pumppua. Mittaukset on tehty yhtä aikaa aktiivikeräimen kanssa ja tuloksia on verrattu. Mittaukset on tehty sekä sisätiloissa, oikeissa työtilanteissa sekä tuulitunnelissa koetilanteissa. Tulokset ovat antaneet ristiriitaista tietoa ja ne ovat riippuneet paljon tilanteesta, ovatko tulokset olleet verrattavissa aktiivisesti ja passiivisesti tehdyissä mittauksissa. Myös pölyn lähde on vaikuttanut verrattavuuteen. Koska tutkimuksia ei ole tehty enempää, ei voida olettaa että IOM-keräintä voidaan käyttää myös passiivisesti. Tässä projektissa mittauksia tehdään myös IOM-keräintä passiivisesti käyttäen, mistä lisää luvussa 5 (Liden, Jüringer & Gudmunsson 1999, 18–19)

5 MITTAUKSET

Projektin aikana, ennen mittauksien suorittamista otettiin yhteyttä eri passiivikeräinten prototyyppien kehittäjiin Japanissa, Tanskassa, Isossa-Britanniassa ja Yhdysvalloissa. Koska yksikään hiukkasille tarkoitettu keräin ei ole kaupallinen, ei kyseisiä passiivikeräimiä voitu tilata käytettäväksi. Myöskään kaikkiin yhteydenottoihin ei saatu vastausta. Koska tarvittavaa passiivikeräintä ei saatu, tultiin projektikokouksessa siihen tulokseen, että mittaukset suoritetaan Vinzentsin kehittämän keräimen toimintaperiaattella toimivalla itse rakennetulla VM-passiivikeräimellä, sekä passiivisesti ilman pumppua toimivalla IOM-keräimellä. Näistä passiivikeräimistä lisää luvussa 5.1.

5.1 Käytetyt mittalaitteet

Mittauksissa käytettiin eri mittalaitteita, jotta tuloksia pystyttiin vertaamaan keskenään ja näin varmistamaan, saadaanko passiivikeräimillä luetettavia tuloksia. Seuraavissa luvuissa on esitelty käytetyt mittalaitteet.

5.1.1 Valon optiseen sirontaan perustuvat ARTI- ja DustTrak-mittalaitteet

ARTI- ja DustTrak-hiukkasmittalaitteiden toiminta perustuu valon sirontaan, jotka molemmat toimivat reaaliajassa elektronisesti. Mittaustulokset voidaan nähdä heti ja laitteet myös tallentavat tiedon, niin että niitä voidaan tutkia ja käsitellä myöhemmin tietokoneella niihin tarkoitettujen ohjelmien avulla. Kuvioissa 13 ja 14 on esitelty DustTrak- ja ARTI-mittalaitteet (Rautanen 2009 24)



Kuviot 13 ja 14 DustTrak- ja ARTI-mittalaitteet (Ilari Rautanen 2009 24-25)

Dustrak-mittalaite on tarkoitettu hiukkasten massapitoisuuden mittaamiseen. Mittauslaitteen toiminta perustuu laser-fotometriaan. Laitteen sisällä oleva pumppu pumppaa, hiukkaset näytteen sisällä olevaan optiseen kammioon, jossa laser-säde osuu ilmassa oleviin hiukkasiin. Osumien perusteella laite laskee hiukkasten lukumäärän ja ilmoittaa sen digitaalisella näytöllä mg/m^3 :ssä reaaliajassa. DustTrak-mittalaite ei sovellu suurille pitoisuuksille (yli $100 \text{ mg}/\text{m}^3$). Koska tiedetään myös DustTrak-mittalaitteen pumpun tilavuusvirta, pystyttiin laskemaan mittauksen ajalta kokonaismassa, kaavan 4 mukaan. (Teknocalor)

Kokonaismassa M on

$$M = \sum q_v \cdot c_m \cdot \Delta t \quad , \quad (4)$$

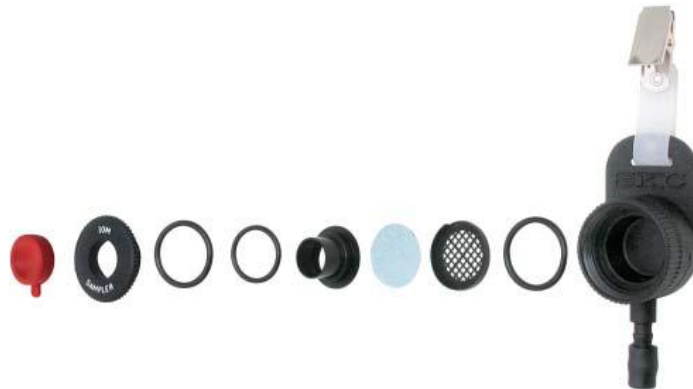
jossa q_v on tilavuusvirta, c_m on massapitoisuus ja Δt on mittausaika

ARTI-mittalaite mittaa ilmassa olevia hiukkasia niin, että se ilmoittaa niiden lukumääräpitoisuuden tilavuutta kohden, sekä ilmentöisuuden ja lämpötilan. Laite kertoo hiukkasten lukumäärän kuudessa eri kokoluokassa $0,5 - 0,7 \mu\text{m}$, $0,7 - 1,0 \mu\text{m}$, $1,0 - 2,0 \mu\text{m}$, $2,0 - 5,0 \mu\text{m}$, $5,0 - 10,0 \mu\text{m}$, $>10,0 \mu\text{m}$ yhtä litraa kohti. Koska tässä opinnäytetyössä ei keskitytty hiukkasten kokoluokkiin, käytettiin ARTI-

mittalaitteen tuloksia vain esimittauksissa kertomaan suunnilleen, minkä kokoluokan hiukkasista on kyse mittauksia tehdessä. (Rautanen 2009 24).

5.1.2 Käytetty aktiivikeräin

IOM-aktiivikeräin on tarkoitettu henkilökohtaiseen pölyn mittaukseen. Sen rakenne nähdään kuvista 15. Kuvista nähdään, että sen päällinen on muovia, jonka sisälle pölyhiukkaset kerääntyvät. Keräimessä on suodatin, joka päästää maksimissaan halkaisijaltaan 100 mikrometrin kokoiset hiukkaset keräysalustalle. Hiukkaset kerääntyvät IOM-keräimeen pumpun avulla, jonka tilavuusvirta on 2 l/min. Jotta tuloksista saadaan luetettavia, asetetaan laite lähelle hengitysteitä. Analyysi tapahtuu gravimetrisesti, niin että keräysalusta mitataan ennen ja jälkeen mittauksen. Mittaustulosten perusteella voidaan laskea massapitoisuus kaavan 5 perusteella. (SKC)



Kuvio 15. IOM-aktiivikeräimen rakenne (SKC)

Massapitoisuus c_m on

$$c_m = \frac{M}{\sum q_v \cdot \Delta t} \quad , \quad (5)$$

jossa M on kokonaismassa, q_v on tilavuusvirta ja Δt on mittausaika

5.1.3 Kokeelliset Passiivikeräimet

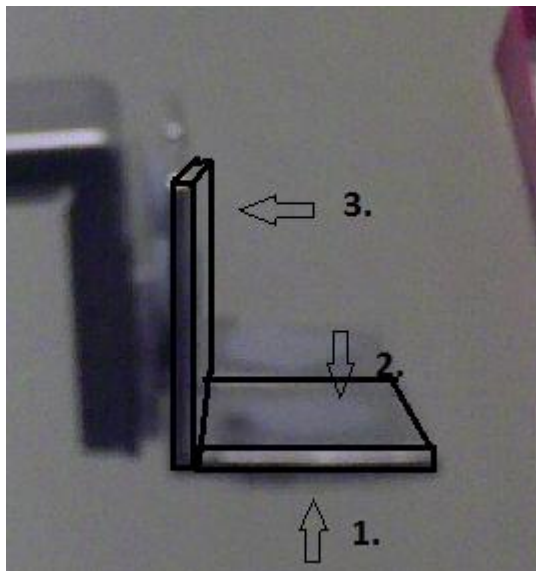
Tässä työssä käytetty passiivikeräin perustuu Vinzentsin kehittämään malliin (kappale 4.2). Tässä työssä tätä keräintä kutsutaan nimellä VM-passiivikeräin. Ideana

passiivikeräimessä on kolme keräyspintaa, jotka on sijoitettu eri suuntiin, ylhäälle, alhaalle ja sivulle (kuvio 16). L-muotoinen keräin on rakennettu alumiinista, ja se on malliltaan sellainen, että siihen on helppo kiinnittää keräyspintoina toimivat ohuet lasilevyt (kooltaan 18x18mm). Lasilevyt kiinnitettiin keräimeen sinitarralla. Lasilevyjen päälle suihkutettiin tarttuvaa Dekati 515-ds ainetta, jotta pölyhiukkaset pysyvät lasilevyillä paremmin. Mittaustulokset analysoidaan gravimetrisesti, niin että lasilevyt punnitaan ennen ja jälkeen mittauksen, jonka jälkeen voidaan laskea lasilevyjen keräämien hiukkasten kokonaismassa. Mittaustuloksista saadaan suoraan gravimetrisellä analysoinnilla kerääjän keräämä massa, josta voidaan laskea kaavan 6 avulla keräyspinnoille kerääntyneen pölyn kertymä. Tämä auttaa tulosten vertailussa, koska siinä otetaan huomioon myös mittausaika ja keräyspintojen ala.

Pölyn kertymä, diffuusiokerroin D_k on

$$D_k = \frac{M}{A \cdot \Delta t} \quad (6)$$

Jossa M on kokonaismassa, A on keräyspintojen pinta-ala ja Δt on mittausaika



Kuvio 16. Vinzentsin malliin perustuva passiivikeräin sivulta, missä 1 on alakehä, 2 on yläkeräyspinta ja 3 sivukeräyspinta

Toisena passiivisena keräimenä käytettiin IOM-keräintä, niin että siihen ei liitetty pumppua. Muuten rakenne keräimellä on täysin sama, kuin aktiivisestikin käytetty-

nä. Vertailuna tuloksia analysoitaessa IOM-passiivikeräimelle, käytettiin IOM-aktiivikeräintä.

5.2 Mittauspaikka ja mitattava materiaali

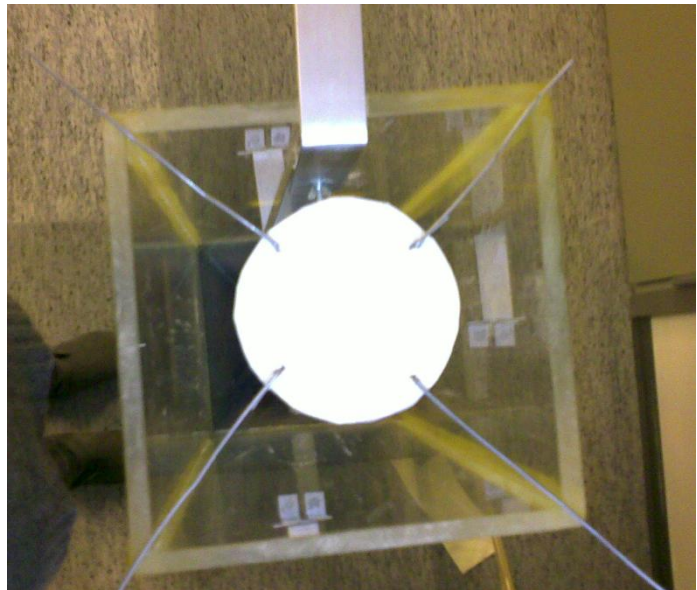
Mittauspaikkana käytettiin Tampereen Ammattikorkeakoulun fysiikan laboratorioita, tilaa EO-07. Koska mittaukset olivat kokeellisia, tuli mittaukset tehdä kontrolloiduissa olosuhteissa. Tähän tarkoitukseen käytettiin pölykammiota, jonka rakenne voidaan nähdä kuvista 17. Tunnelin etuna voidaan pitää sitä, että vallitsevat olosuhteet tiedetään ja niitä pystytään kontrolloimaan haluamalla tavalla. Kuvista 18 nähdään kammio ylhäältä päin, mihin tietty määrä pölyä asetetaan ja mittauksen alkaessa vapautetaan kammion sisään. Kun pöly vapautetaan, suurimmat hiukkaset tulevat ensimmäisenä alas ja tästä syystä on kammioon asetettu myös pahvista rakennettu levy, joka nappaa isoimmat hiukkaset, niin että mittauksissa pystytään saamaan tarkempia tuloksia koskien pienempiä kokoisia hiukkasia ja myös siksi, että mittalaitteiden mittaustarkkuus ei kärsi. Kuvista 19 nähdään pahvinen levy, eli pölyn esikeräin. Mittauspölynä käytettiin Tampereen Ammattikorkeakoulun Sementtilaboratoriosta saatua hienoa sementtipölyä.



Kuvio 17. Pölykammion rakenne



Kuvio 18. Pölykammio ylhäältäpäin, alusta mihin pöly asetetaan ja voidaan vapauttaa pölykammio, mittauksen alkaessa



Kuvio 19. Pölyn esikeräin. Sijaitsee pölykammion keskikohdassa

5.3 Analyysit ja analysointilaitteet

Analysointi tapahtui gravimetrisesti, joten analysoinnissa käytettiin hyväksi vaakaa (tyyppi Sartorius CP225D), jonka tarkkuus lukematakkuus on 0,01mg ja toistotarkkuus 0,02mg. Koska hiukkaset ovat herkkiä ilmankosteuden ja lämpötilan muutoksille, punnittiin näytteet punnitushuoneessa, missä olosuhteiden muutoksia pystyttiin tarkkailemaan.

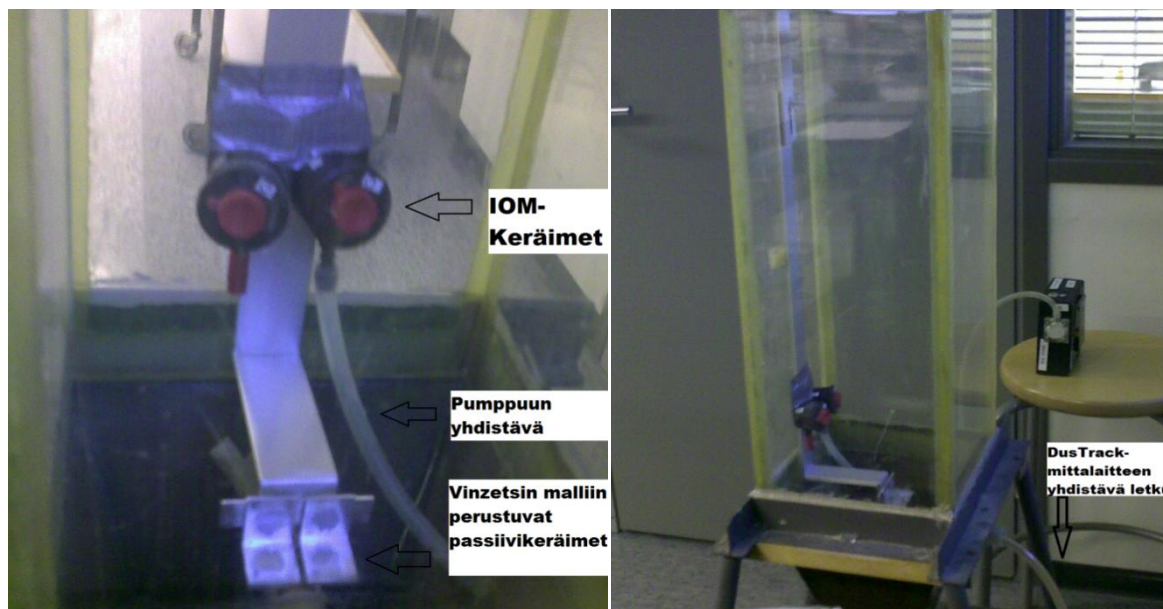
5.4 Esimittaukset

Ennen varsinaisten mittausten aloittamista, täytyi tehdä esimittauksia. Esimittaukset tehtiin, että saatiin tietoa pienten pölypartikkeleiden käyttäytymisestä luoduissa olosuhteissa (pölytunneli). Esimittauksien avulla selvitettiin mittausaika, sekä pölyn maksimi määrä, jonka esimerkiksi DustTrak-mittalaite pystyy luetettavasti mittaamaan. Esimittauksia tehdessä saatiin myös varmuutta mittauksiin, jolloin virhetekijöiden määrä väheni. Esimittauksissa käytettiin kaikkia käytössä olevia mittalaitteita, eli DustTrak- ja ARTI-mittalaitetta (tausta-arvojen mittaamiseen), IOM-aktiivikeräintä sekä aktiivisesti, että ilman pumppua passiivisesti käyttäen ja VM-passiivikeräintä. Esimittauksia tehdessä ei vielä tiedetty, mitä tarrautuvaa ainetta Vinzentsin malliin perustuvassa keräimessä tulisi käyttää, myös tämä määritettiin näitä mittauksia tehdessä.

5.4.1 Esimittauksien toteutus

Esimittaukset toteutettiin käyttämällä pölytunnelia, jossa saatiin luotua halutut olosuhteet. Mittauksissa käytettiin kahta VM-passiivikeräintä rinnakkain, jotta tuloksia voitiin verrata keskenään ja saamaan näin niistä luetettavampia. Molemmat IOM-keräimet asetettiin tunneliin vierekkäin, niin että aktiivinen keräin yhdistettiin tunnelin ulkopuolella olevaan pumppuun muoviletkun avulla. DustTrak-mittalaite yhdistettiin tunneliin muovista letkua pitkin. Kuvioista 20 ja 21 voidaan nähdä mittalaitteiden paikat tunnelissa. Ennen mittauksien aloittamista VM-

passiivikeräimien ja IOM-keräimien keräinalustat ja mitattava määrä sementtipölyä punnittiin, DustTrak- ja ARTI-mittalaitteilla mitattiin laboratorion tausta-arvot, sekä aseteltiin sementtipöly tunnelin yläpuolella olevalle vapautettavalle alustalle.



Kuvio 20 ja 21 Mittalaitteiden paikat pöly-tunnelissa

5.4.2 Esimittauksien tulokset

Esimittauksista selvisi että maksimi määrä pölyä, mikä voidaan yhdellä kertaa pölykammioon vapauttaa on 5g. Tämä siitä syystä että DustTrak-mittalaitteen raja-arvo luotettaville mittauksille on 100mg/m^3 , joka ylittyy, jos pölyä vapautetaan enemmän kerralla. Jokaisen pölyaltistuksen jälkeen tulee myös odottaa 5 minuuttia, jotta visuaalisesti nähtävää pölyä ei tunnelissa enää ole, jonka jälkeen voidaan vapauttaa seuraava pölyannos. Esimittauksien perusteella pystyttiin myös päättämään mittausaika. 30 minuuttia päätettiin kokonaismittausajaksi, jotta voitiin olla varmoja, että myös pienimmät hiukkaset ovat laskeutuneet keräysalustoille. Päätettiin käyttää VM-passiivikeräimen tarttuvana aineena Dekati DS-515-sprayta. Spray antoi mittautuloksina hyvän lineaarisuuden ja sitä oli helppo käyttää. Sprayn kuivumista tarvitsi odottaa vain 15 minuuttia. Esimittauksissa tultiin myös siihen tulokseen, että pölyn esikeräintä (pahvista rakennettu levy kappale 5.2) tulee käyttää, jotta tulokset ovat luetettavia ja jotta voidaan pölyn kerta-annoksina pitää 5 grammaa.

5.5 Todelliset mittaukset

Todelliset mittaukset aloitettiin, esimittauksien tietojen pohjalta ja toteutettiin samalla tavalla kuin esimittaukset. Kappaleessa 5.4.1 on kerrottu, kuinka mittaukset on toteutettu. Mittauksia tehtiin yhteensä viisi, niin että vapautettavat pölymäärät mittauksissa olivat n. 2,5g, 5 g, 10g, 15g ja 25g. Taulukosta 3 voidaan lukea tarkat pölymäärät ja mittauksen kesto. Mittauksia tehdessä täytettiin mittauspöytäkirjaa, johon kirjattiin mittauksen tiedot ja mittauksista saadut tulokset.

Taulukko 3. Mittauksien kesto ja pölymäärät (Soltani 2010, 30)

<i>Mittauksen Numero</i>	<i>Käytetty pölymäärä (g)</i>	<i>Mittauksen kesto (min)</i>
1	2,716	32
2	5,309	30
3	26,077	39
4	10,592	32
5	16,228	39

5.5.1 Mittauksien vaiheet

Mittauksia tehdessä noudatettiin kolmea eri vaihetta: valmistelu, mittaustilanne ja mittaustilanteiden tulosten analysointi. Ensin mittaus valmisteltiin, joka sisälsi Keräysalustojen punnitsemisen, niiden numeroinnin, jotta tiedettiin mikä alusta, sijaitsee missäkin mittauksia tehdessä, mittalaitteiden sijoittamisen pölytunneliin, tausta-arvojen mittaamisen ja mitattavan pölyn punnitsemisen, sekä sen asettamisen pölytunnelin päällä olevalle alustalle, mistä se pystyttiin vapauttamaan. Valmistelun jälkeen siirryttiin itse mittaustilanteeseen, missä pöly vapautettiin x-kertaa, riippuen pölyn määrästä 5 gramman määrinä, niin että jokaisen pölyn vapautuksen jälkeen odotettiin viisi minuuttia, niin että mittaus kesti yhteensä n. 30 minuuttia. Mittauksen jälkeen keräysalustat punnittiin sekä IOM-, että VM-passiivikeräimistä. Punnitsemisen ajan seurattiin punnitushuoneen ilmankosteutta

ja lämpötilaa, mitkä kirjattiin mittauspöytäkirjoihin, jotka voidaan nähdä liitteinä 1-5. DustTrak-mittalaitteen keräämä tieto siirrettiin tietokoneelle analysoitavaksi.

6 MITTAUSTULOKSET

Mittaustulokset analysoitiin ja taulukoitiin jokaisen mittalaitteen kohdalta erikseen. Koska gravimetrisessä analysoinnissa luotettavuuden kannalta on tärkeätä, että olosuhteet pysyvät samana taulukoitiin tulokset myös lämpötilan ja ilmankosteuden osalta. Punnitushuoneessa olosuhteet pysyivät suhteellisen samana koko gravimetrisen analysoinnin ajan, niin että ilma kosteus pysyi välillä 35–45% ja lämpötila n. 25 asteessa.

6.1 IOM-aktiivikeräimen ja DustTrak-mittalaitteen mittaustulokset

IOM-aktiivikeräimen ja DustTrak-mittalaitteen mittaustuloksia käytettiin vertailupohjana Vinzentsin malliin perustuvan keräimen tuloksiin. Koska Vinzentsin malliin perustuvaa keräintä ei ollut aikaisemmin käytetty, oli tärkeätä saada tietää voidaanko sen tuloksiin luottaa, minkä vuoksi mittauksia tehtiin myös aktiivikeräimillä. Jotta tulokset ovat vertailukelpoisia, tulee DustTrak-mittalaitteen antamien tuloksien pohjalta laskea myös keräimeen tullut kokonaispölynmäärä kaavan 4 avulla. IOM-aktiivikeräimen antamien tulosten pohjalta voidaan laskea mittauksien massapitoisuus soveltaen kaavaa 4 Taulukoista 4 ja 5 nähdään IOM-aktiivikeräimen ja DustTrak-mittalaitteen mittaustulokset.

Taulukko 4. IOM-aktiivikeräimen mittaustulokset

IOM-aktiivikeräin						
Mittauksen numero	Vapautettu pölymäärä (g)	Keräysalustan massa (g)		Pölyn määrä keräysalustalla		Laskettu pölyn pitoisuus (mg/m³)
		Mittausta ennen	Mittauksen jälkeen	(g)	(mg)	
1	2,7161	4,46662	4,48222	0,00786	7,86	243,63
2	5,309	4,89077	4,89863	0,01559	15,59	122,81
3	26,074	4,72133	4,76963	0,04830	48,30	754,69
4	10,592	4,66363	4,68430	0,02068	20,68	323,07
5	16,228	4,63536	4,67674	0,04138	41,38	646,56

Taulukko 5. DustTrak-mittalaitteen mittaustulokset

DustTrak-mittalaite			
Mittauksen numero	Vapautettu pölymäärä (g)	Pölypitosuus (keskiarvo) (mg/m³)	Laskettu massa (mg)
1	2,716	2,85481	0,15
2	5,309	5,22803	0,27
3	26,074	13,23391	1,19
4	10,592	6,06948	0,40
5	16,228	8,76212	0,73

6.2 Passiivikeräimien mittaustulokset

Taulukosta 6 ja 7 voidaan nähdä IOM-passiivikeräimen ja VM-passiivikeräimen mittaustulokset. VM-passiivikeräimen mittaustuloksista voidaan laskea pölyn kerrostuma keräysalustalle, mikä on esitetty taulukossa 7. Taulukossa 7 on kerrottu myös VM-passiivikeräimien sijainti pölytunnelissa. Tuloksista voidaan nähdä, että keräimien välillä on eroja. Keräinten toimivuuden varmistamiseksi tarvitaankin lisää mittaustuloksia.

Taulukko 6. IOM-passiivikeräimen mittaustulokset

IOM-passiivikeräin					
Mittauksen numero	Vapautettu pölymäärä (g)	Keräysalustan massa (g)		Pölymäärä keräysalustalla	
		Mittausta ennen	Mittauksen jälkeen	(g)	(mg)
1	2,7161	4,42806	4,42863	0,00057	0,57
2	5,309	4,87992	4,88118	0,00126	1,26
3	26,074	4,63556	4,63878	0,00323	3,23
4	10,592	4,65458	4,65639	0,000181	1,81
5	16,228	4,72147	4,72328	0,00181	1,81

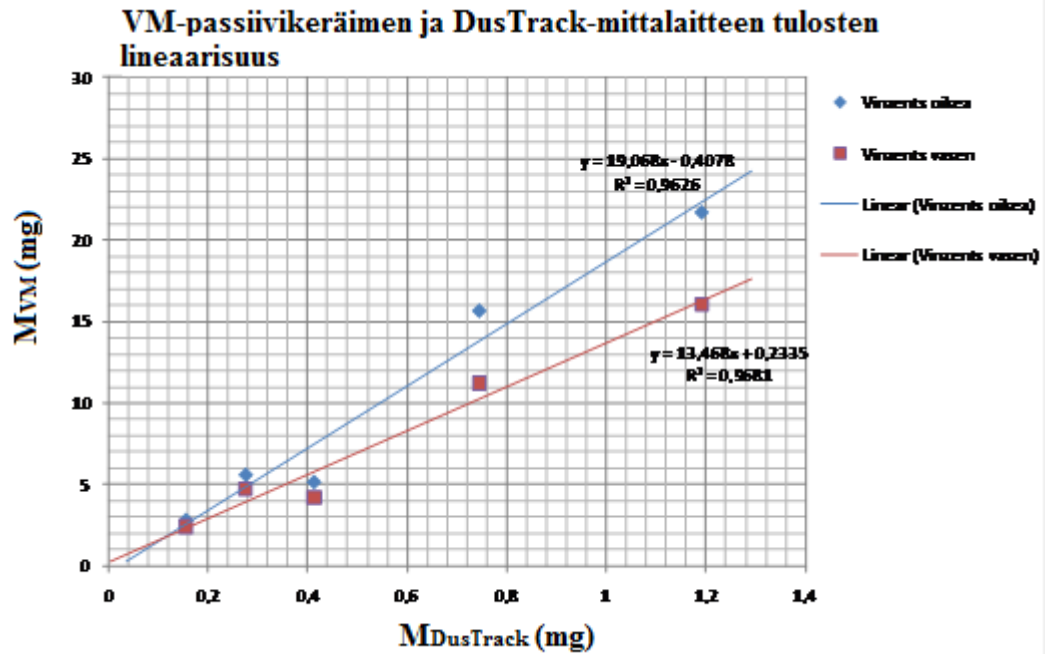
Taulukko 7. Vinzentsin malliin perustuvan passiivikeräimen mittaustulokset (Sol-tani 2010 36)

VM-passiivikeräin					
Mittauksen numero	Keräimen sijainti	Vapautettu pölymäärä (g)	Pölymäärä keräysalustalla		Pölyn kerrostuminen keräysalustalle (mg/m ² *s)
			(g)	(mg)	
1	Oikea	2,716	0,00282	2,82	1,51
1	Vasen	2,716	0,00243	2,43	1,30
2	Oikea	5,309	0,00474	4,74	2,71
2	Vasen	5,309	0,00559	5,59	3,20
3	Oikea	26,074	0,01606	16,06	7,06
3	Vasen	26,074	0,02174	21,74	9,56
4	Oikea	10,592	0,00515	5,15	2,76
4	Vasen	10,592	0,00418	4,18	2,24
5	Oikea	16,228	0,01121	11,21	6,00
5	Vasen	16,228	0,01569	15,69	6,90

6.3 Mittaustulosten vertailu

Mittaustulosten vertailu mittalaitteiden antamien tulosten kesken on tärkeää, jotta voidaan tietää onko kokeellisilla passiivikeräimillä saatu tehtyä mittauksia, joiden tietoihin voi luottaa. Tässä kappaleessa, Vinzentsin malliin perustuvan passiivikeräimen antamia mittaustuloksia on verrattu sekä DustTrak-mittalaitteen tuloksiin. IOM-passiivikeräimen tuloksia verrataan IOM-aktiivikeräimen tuloksiin. Mittaukset perustuvat eri menetelmiin, joten tuloksia ei näin ollen voi suoraan verrata keskenään.

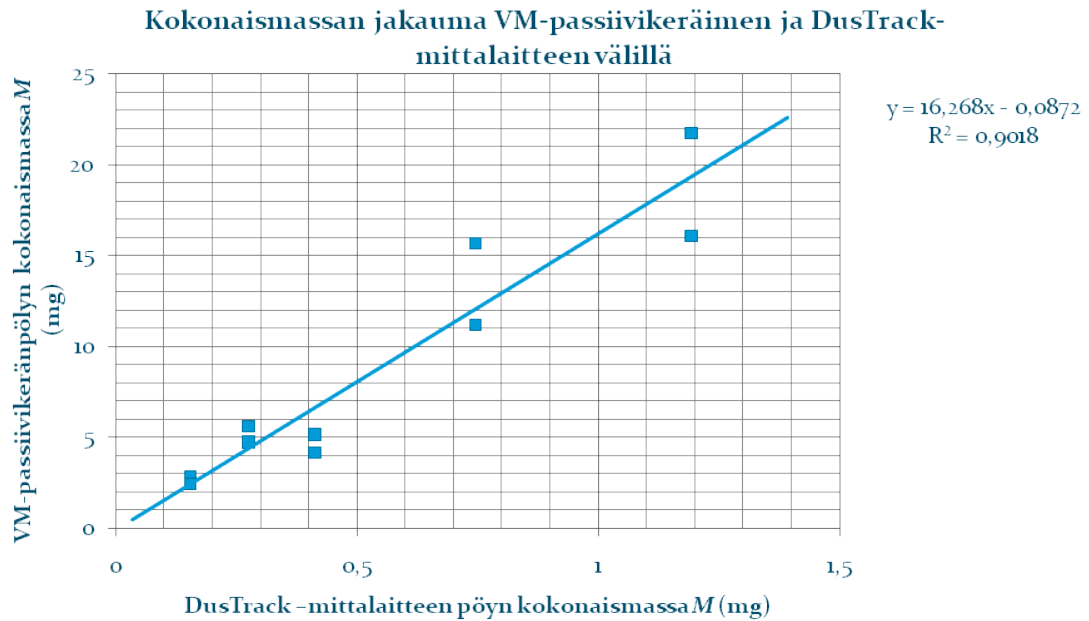
Kuviosta 23 ja 24 nähdään kuinka lineaarisesti Vinzentsin perustuvan mallin ja DustTrak-mittalaitteen tulokset massajakaumana toisiaan kohtaan käyttäytyvät. Kuviosta 22 nähdään myös passiivikeräimien eroavaisuudet keskenään perustuen mittauksien sijaintiin.



Kuvio 22. Massajakauma DustTrak-mittalaitteen ja VM-passiivikeräimen välillä, jossa M on kokonaismassa ja R on korrelaatiokerroin

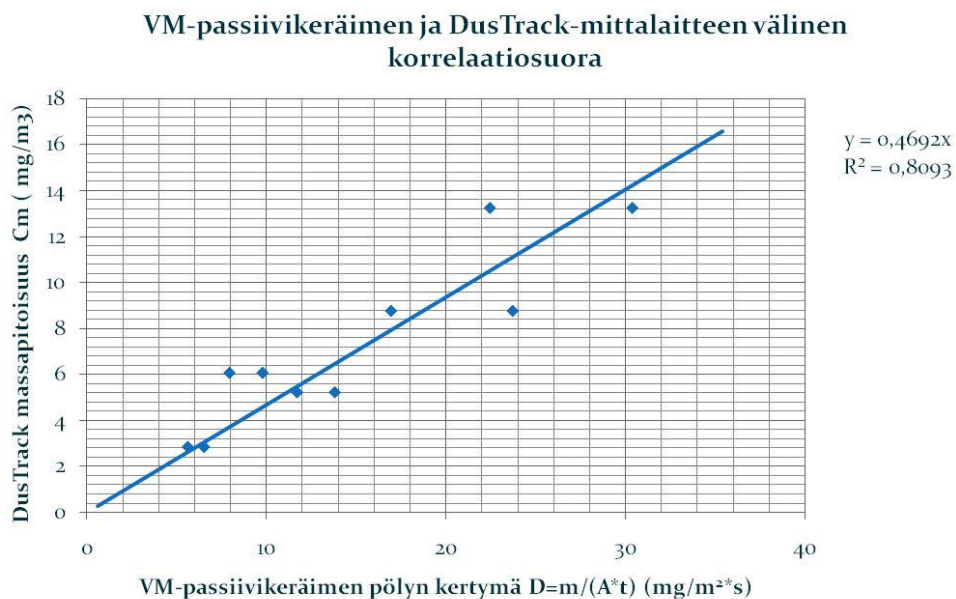
Kuviosta 22 nähdään, että lineaarisuus mittalaitteiden välillä on hyvä. Korrelaatiokerroin R on lähellä tulosta 1, mikä kertoo siihen että tuloksia voidaan pitää hyvinä. Kahden eri VM-passiivikeräimen välillä on eroavaisuuksia, mikä kertoo siitä, että mittalaite ei vielä toimi täydellisesti tai pöly ei ole jakautunut pölytunnelissa tasaisesti. Pölyn epätasainen jakautuminen kammiossa vaikuttaa myös DustTrak-mittalaitteen tuloksiin.

Kuviossa 23 on mittaustulokset yhdistetty kahden eri VM-passiivikeräimen osalta. Edelleen voidaan todeta että lineaarisuus tuloksissa on hyvä ja korrelaatio lähellä ykköstä. Tästä voidaan päätellä, että VM-passiivikeräimen antamat mittaustulokset ovat kohtuullisen luotettavia.



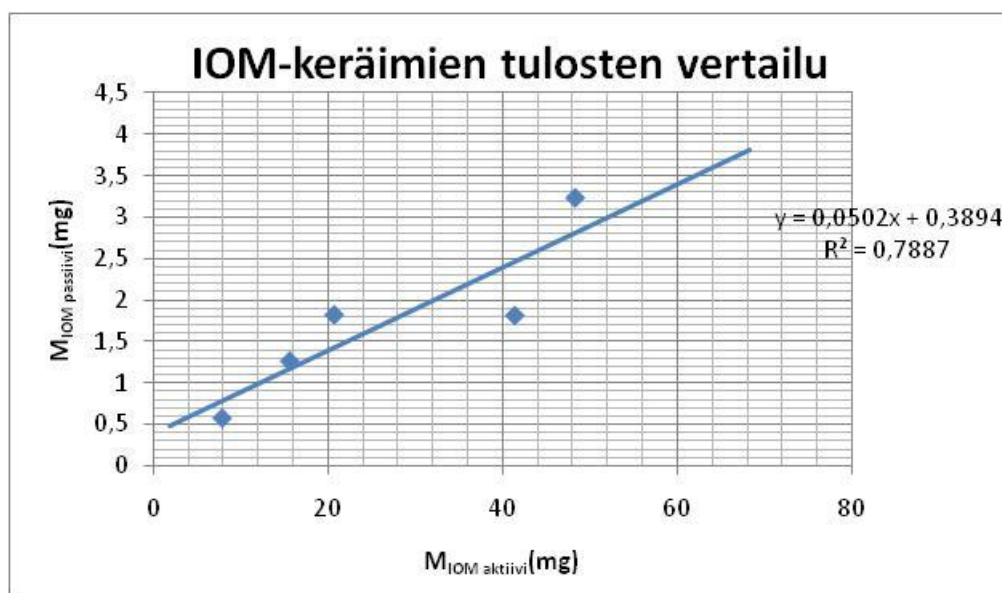
Kuvio 23. Massajakauma VM-passiivikeräimen ja DustTrak-mittalaitteen välillä, jossa R on korrelaatiokerroin ja M on kokonaismassa

Kuvio 24 näyttää DustTrak-mittalaitteen ja VM-passiivikeräimen välisen korrelaatio-suoran. Koska mittausaika vaihtelee ja myös VM-passiivikeräimen ala voi olla eri, on kuviossa 24 otettu huomioon myös tämä, koska siinä on laskettu VM-passiivikeräimen pölykertymä.



Kuvio 24. Kalibraatio-suora VM-passiivikeräimen ja DustTrak-mittalaitteen välillä, jossa D on pölyn kertymä, c_m on massapitoisuus, M on kokonaismassa, A on kalvojen pinta-ala, t on mitattu aika ja R on korrelaatiokerroin.

IOM-aktiivikeräimen ja IOM-passiivikeräimen tulosten vertailu voidaan nähdä kuvista 25. IOM-passiivikeräimeen kertyneen pölyn määrä ei kasva aivan samassa suhteessa kuin aktiivikeräimessä. Mittaustulosten laskettu korrelaatiokerroin on kuitenkin lähellä ykköstä, mikä kertoo tulosten lineaarisuudesta. IOM-passiivikeräimeen kertyneen pölyn määrä kasvaa tasaisesti ja vastaa siten aktiivikeräimen tulosta. Tästä voidaan päätellä, että IOM-keräin passiivisesti voi toimia ainakin laboratorio-olosuhteissa.



Kuvio 25. IOM-keräimien tulosten vertailu, missä M on kokonaismassa ja R on korrelaatiokerroin

6.4 Mittauksien virhetekijät

Mittauksia tehdessä tulee ottaa huomioon virhetekijät. Virhettä aiheuttaa esimerkiksi gravimetrisessä analyysissä pienten massojen punnitseminen. Tutkimukset ovat kokeellisia, joten mittausten asettelu ja mittalaitteiden sijoittaminen on täysin uutta, jolloin virhetekijät voivat lisääntyä myös tämän vuoksi. Koska mittaus on kokeellinen, ei tässä työssä ole keskitytty virhetekijöihin, vaan tärkeämpää on saada suuntaa antavia tuloksia ja kun mittaukset on todettu kannattavaksi, voidaan virhetekijöihin ja virheiden laskemiseen käyttää enemmän aikaa.

7 JOHTOPÄÄTÖKSET

Passiivikeräimillä tehdyt mittaukset ovat halvempia ja helpompia tehdä. Tämän vuoksi on tärkeää tehdä tutkimusta siitä, voiko pölyn mittaaminen olla passiivisesti mahdollista. Tämän työn yksi osa oli kerätä tietoa, eri mahdollisuuksista pölymittauksiin passiivisesti. Aikaisempia tutkimuksia pölymittauksista passiivisesti on tehty vähän, joten tiedon määrä oli rajoitettu. Tässä työssä on esitelty kaikki tähän mennessä valmistuneet pölyn passiivikeräimien prototyypit lyhyesti. Tulevaisuudessa tutkimuksia voidaan tehdä lisää esiteltyjen prototyyppien osalta ja tämän työn yksi tarkoitus on helpottaa ymmärtämään niiden toimintaperiaate ja helpottaa tiedon etsimistä tulevaisuudessa pölyn passiivikeräykseen liittyen.

Kokeelliset mittaukset tehtiin kahdella eri passiivikeräimellä, IOM-aktiivikeräimellä passiivisesti käytettynä, sekä VM-passiivikeräimellä. IOM-aktiivikeräin passiivisesti käytettynä antoi tuloksia joiden pohjalta on hyvä jatkaa mittauksia. Tulokset eivät olleet tasaisia mittauksesta toiseen, joten mittauksia laboratorio-olosuhteissa on syytä jatkaa, jotta voidaan tietää, onko mittauksia mahdollista tehdä ja ovatko ne tarpeeksi luetettavia. IOM-aktiivikeräimen toiminta perustuu siihen että se saa pölyhiukkaset keräimeen pumppua käyttäen, ilman tätä voimaa, eli passiivisesti IOM-keräintä käytettynä, ei välttämättä saavuteta oikeaa mittaustulosta.

VM-passiivikeräimen mittaukset onnistuivat ja antoivat hyviä suuntaa antavia tuloksia. VM-passiivikeräimen tuloksia verrattiin DustTrak-mittalaitteen antamiin tuloksiin. Tästä voidaan todeta, että tulosten välillä oli havaittavissa selvä yhteys ja hyvä korrelaatio, joten tuloksia voidaan pitää onnistuneina. Mittauksia tehtiin kokeellisesti tiedetyissä olosuhteissa, tietty määrä. Seuraava askel on tehdä mittauksia lisää laboratorio-olosuhteissa vaihtelevissa olosuhteissa ja pölyn pitoisuutta ja laatua muuttamalla. Tällä voidaan varmistua, että mittaukset todellisissa olosuhteissa ovat kannattavia.

Ongelmana kokeellisissa mittauksissa, olivat virhetekijät, kuten käsittely, johon tulevaisuudessa pitää keskittyä tarkemmin, esimerkiksi punnitustilanteeseen. Koska pöly ei kunnolla kiinnity keräysalustoille, varsinkin jos sitä on paljon, tulee punnit-

semmissä helposti virheitä. Yksi ratkaisu tähän on käyttää keräysalustoilla jotain muuta tarrautuvaa materiaalia, kuin Dekati DS-505 sprayta. Tulevissa mittauksissa tulee määrittää VM-passiivikeräimen määritysrajat, jotta tiedetään minkälaisissa olosuhteissa ja millaisille pölymäärille VM-passiivikeräintä voidaan käyttää.

Alustavat tulokset ovat hyviä siihen nähden, että mittauksia VM-passiivikeräimellä tehtiin ensimmäistä kertaa. Mittauksia toistamalla saadaan parannettua mittauksen tarkkuutta ja voidaan havaita tekijöitä jotka parantaisivat mittauksen luotettavuutta. Ongelma mittauksia tehdessä on myös se, miten VM-passiivikeräimiä voidaan käyttää henkilökohtaisesti ihmisen työskennellessä. Projektia jatkettaessa on tärkeitä tehdä mittauksia todellisessa ympäristössä, käyttämällä passiivikeräimiä kiinnitettynä työskentelevään ihmiseen. Näistä mittauksista voidaan selvittää, pystytäänkö VM-passiivikeräimillä saamaan luotettavia tuloksia henkilökohtaisessa pölymittauksessa.

Kaiken kaikkiaan työn tavoitteet saavutettiin hyvin. Opinnäytetyössä on lyhyesti esiteltynä olemassa olevat passiivikeräimet pölymittauksiin. Vaikka näillä passiivikeräimillä ei pystytty mittauksia tekemään, saatiin tehtyä kokeellisia mittauksia tehtyä itse rakennetulla VM-passiivikeräimellä ja IOM-passiivikeräimellä. Alustavat mittaukset antoivat hyviä tuloksia ja mittauksia on syytä jatkaa.

LÄHTEET

- Brown R.C 1997 Passive dust sampler and method of dust estimation. United States Patent 5607497, March 4.1997.
- Burdett G, Bard D 2007, Exposure of UK industrial plumbers to asbestos, Part I: Monitoring of exposure using personal passive samplers. The annals of occupational hygiene Vol. 51 No. 2 121-130
- Hemingway M.A 2002. Environmental use of the passive dust sampler: Final report. Project R42.804-report, Sheffield
- Hemingway M.A; Strudley I; Brown R.C; Froude S; Smith M.M 1997. An electrode-based passive sampler used for sampling airborne pigment dust, rubber dust and flour dust. The annals of occupational hygiene Vol. 41 653-658
- Hengitysliitto Heli Ry. [www-sivu]. [viitattu 17.5.2011] Saatavissa <http://www.hengitysliitto.fi/Hengitysilma/Ulkoilma/Ilmansaasteet/Hiukkaset/>
- Hinds William C, 1998, Aerosol technology, Properties, behavior and measurement of airborne particles, John Wiley & Sons Inc. Los Angeles
- Ilmanlaatuportaali. [www-sivu]. [viitattu 3.8.2010] Saatavissa <http://www.fmi.fi/ilmanlaatu/>
- Korhonen Heikki ja Lintunen Martti, 2003, Hyvä sisäilma, Oy like kustannus Ltd, Keuruu
- Lahtinen Marjaana, Lappalainen Sanna, Reijula Kari, 2006, Sisäilman hyväksi toimintamalli vaikeiden sisäongelmien ratkaisuun, työterveyslaitos, Vammala.
- Liden G, Jüringer L & Gudmunsson A. 1999. Workplace validation of a laboratory evaluation test of samplers for inhalable and “total” dust. Aerosol science and technology. Vol. 31 No.2 199-219
- McAlary T 2009, Development of More Cost-Effective Methods for Long-Term Monitoring of Soil Vapor Intrusion to Indoor Air Using Quantitative Passive Diffusive-Adsorptive Sampling Techniques. Geosyntec consultants Inc.
- Parla, Harun; Commission for the Investigation of Health Hazards of Chemical Compounds in the Work Area 2006. Essential air monitoring methods. Wiley-vhc, Weinheim.
- Puhakka Eija ja Kärkkäinen Jukka, 1994, Rakentamisen tavoitteena puhdas sisäilmasto, Suomen sisäilmaston mittauspalvelu Oy, Jyväskylä.
- Rautanen, Ilari 2009. Sisäilmatutkimus Tampereen ammattikorkeakoulussa, Rakennuslaboratorion pienhiukkaset. Opinnäytetyö. Tampereen ammattikorkeakoulu. Tampere.

- Report on passive samplers for atmospheric chemistry Measurements and their role in Gaw, World's meteorological organization global atmosphere watch No.122 2 [online] [viitattu 15.5.2011]
<ftp://ftp.wmo.int/Documents/PublicWeb/arep/gaw/gaw122.pdf>
- Riipinen, Ilona ja Lehtipalo, Katrianne 2009. Hiukkastieto-sivusto. Hiukkasfoorumi; pien- ja nanohiukkasalan toimijoiden riippumaton ja puolueeton verkosto. Helsingin yliopisto. [online]. [viitattu 19.8.2010]
<http://hiukkastieto.fi/>
- Schneider T; Schlünssen V; Vinzents P; Kildesø J 2002. Passive sampler used for simultaneous breathing zone size distribution, inhalable dust concentration and other size fractions involving large particles. The annals of occupational hygiene, Vol.46, No. 2 187–195
- Salonen Raimo O ja Pennanen Arto, 2006, Pienhiukkasten vaikutus terveyteen, Kansanterveyslaitos(Libris Oy), Helsinki
- Seuri Markku, Palomäki Eero, 2000, Haasteellinen sisäilma, riskianalyysi sisäilmaongelmissa, Rakennustieto Oy, Tampere
- Sigma-Aldrich. [www-sivu]. [viitattu 20.5.2011] Saatavissa
<http://www.sigmaaldrich.com/analytical-chromatography/air-monitoring/radiello/learning-center/passive-diffusive-sampling.html>
- Sisäilmayhdistys. [www-sivu]. [viitattu 4.8.2010] Saatavissa
http://www.sisailmayhdistys.fi/portal/terveelliset_tilat/sisailmasto/kemialliset_epapuhautudet/
- SKC. IOM Sampler A gold standard for personal inhalable particulate sampling [www-sivu]. [viitattu 19.5.2011] Saatavissa
<http://www.skinc.com/instructions/1050.pdf>
- Soltani, Mahnaz 2011, A comparative study of passive and active sampling methods for measuring indoor particulate matter, opinnäytetyö. Tampereen ammattikorkeakoulu, Tampere
- Sosiaali- ja terveysministeriö 2009. Asumisterveysopas. Kolmas painos. Ympäristö- ja terveystieteiden tutkimuskeskus Offset Oy, Vaasa
- Teknocalor, [www-sivu] [viitattu 2.10.2010] Saatavissa
http://www.teknocalor.fi/index.php?option=com_content&task=view&id=65&Itemid=98
- Vinzents P.S 1996. A passive personal dust monitor. The annals of occupational hygiene Vol. 40 No. 3 261-280
- Wagner J; Leith D 2001. Field test of a passive aerosol sampler. Aerosol sciences 32 33-48

- Wagner J; Leith D 2001. Passive aerosol sampler. Part 1: Principle of operation. *Aerosol science and technology* 34 186-192
- Wagner J; Macher J.M 2003. Comparison of a passive aerosol sampler to size-selective pump samplers in indoor environments AIHA (American industrial hygiene association) *Journal* 64 September/October 2003 630-639
- Yamamoto N; Hikono M; Koyama H; kumagai K; Fujii M; Yanagisawa Y 2006. A passive sampler for airborne coarse particles. *Journal of aerosol sciences*, 37 1442-1454
- Ympäristöministeriö. [www-sivu]. [viitattu 3.8.2010] Saatavissa <http://www.ymparisto.fi/default.asp?node=4882&lan=fi>

Liite 2. Mittaus 2. Mittauspöytäkirja

[illegible]

	After												Average			
N0. Glasplate	1	2	3	humidity1		humidity 2		temperature1		temperature2		position	Sampler 1/2	weight	humidity	temperature
17	0,11321	0,11323	0,11323	39,5	38,9	39,1	38,2	24,8	25,5	24,8	25,7	blank	1	0,11322	38,92500	25,20000
23	0,11158	0,11159	0,11159	39,5	38,7	40	39,4	24,9	25,7	24,9	25,7	forward	1	0,11159	39,40000	25,30000
19	0,11635	0,11634	0,11634	42,4	41,5	42,2	41,6	25,2	25,9	25,2	25,9	upward	1	0,11634	41,92500	25,55000
20	0,11350	0,11348	0,11349	41,1	39,9	41,1	40,3	25	25	25	25,8	downward	1	0,11349	40,60000	25,20000
21	0,11278	0,11278	0,11277	41,4	40,5	41,5	40,6	25	25,8	25,1	25,8	blank	2	0,11278	41,00000	25,42500
25	0,11592			42,2	41,3	42,3	41,3	25,3	26	25,3	26	forward	2	0,11592	41,77500	25,65000
26	0,11272	0,11270	0,11268	42,2	41,4	42,2	41,5	25,1	25,9	25,1	25,9	upward	2	0,11270	41,82500	25,50000
27	0,11142	0,11145	0,11143	42	41,3	42	41,2	25,1	25,9	25,1	25,9	downward	2	0,11143	41,62500	25,50000
IOM																
	before															
	number	weight [g]		humidity1		humidity 2		temperature1		temperature2		weight	humidity	temperature		
Active	89	4,89079	4,89074	42,6	42,6	42	42,1	24,3	25	24,4	25,1	4,890773333	42,325	24,7		
passive	62	4,42808	4,42805	42,6	41,8	42,5	41,7	24,4	25,1	24,4	25,1	4,42806	42,15	24,75		
	after															
Active	89	4,89867	4,89862	39,7	39,2	39,7	39,3	25	25,8	25,1	25,8	4,898633333	39,475	25,425		
passive	62	4,42863	4,42861	39,1	38,2	39,4	38,8	25,1	25,8	25,1	25,9	4,428626667	38,875	25,475		

Liite 3. Mittaus 3. Mittauspöytäkirja

			before	after			total mass [mg]
	Number	Device Name	weight [g]	weight [g]	sampld dust weight [g]	Position	
		Vinzeits1					
	1	37	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	blank	
	2	38	0,11323	0,11253	0,00000	forward	
	3	39	0,11245	0,12743	0,01498	upward	
	4	36	0,11359	0,11467	0,00108	downward	
		Vinzeits2			0,01606		16,06466667
	5	42	0,11467	0,11359	0,00000	blank	
	6	35	0,11356	0,11472	0,00116	forward	
	7	40	0,11459	0,13514	0,02055	upward	
	8	34	0,11373	0,11376	0,00003	downward	
					0,02174		21,74
			concentration [mg/m3]				
			average	min.	max.		
	9	Dusttrack					1,1923749
number							
Device		Pump					
	10	IONactive	4,721326667	4,769626667	0,04830	c	48,3
	11	IONpassive	4,635556667	4,638783333	0,00323	d	3,226666667
	12	ION as PS 1			0,00000		
	13	ION as PS 2			0,00000		

Liite 4. Mittaus 4. Mittauspöytäkirja

[illegible]

Liite 5. Mittaus 5. Mittauspöytäkirja

[illegible]

before																
NO. Glasplate	1	2	3	humidity1 device		humidity 2 device		temperature1		temperature2		Position	Sampler 1/2	weight	humidity	temperatur
	53	0,11429	0,11433	0,11428	44,6	43,2	43,4	43,3	24,6	25,6	24,6	25,6	blank		0,11430	43,6
48	0,11948	0,11954	0,11946	43,4	43,3	43,3	43,4	24,5	25,6	24,6	25,7	forward		0,11949	43,4	25,1
47	0,11632	0,11635	0,11635	43,3	43,6	44,2	43,7	24,8	25,7	24,7	25,7	upward		0,11634	43,7	25,2
49	0,11559	0,11560	0,11558	43,4	43,8	43,6	43,8	24,7	25,7	24,6	25,8	downward		0,11559	43,7	25,2
43	0,11283	0,11284	0,11281	44,2	43,8	44,4	44,0	24,7	25,8	24,8	25,8	blank		0,11283	44,1	25,3
54	0,11583	0,11583	0,11581	44,7	44,0	44,1	44,0	24,8	25,8	24,8	25,8	forward		0,11582	44,2	25,3
52	0,11555	0,11555	0,11557	45,4	44,0	44,3	44,0	24,8	25,8	24,9	25,9	upward		0,11556	44,4	25,4
46	0,11225	0,11222	0,11222	44,7	44,0	44,3	44,0	24,8	25,9	24,8	25,9	downward		0,11223	44,3	25,4